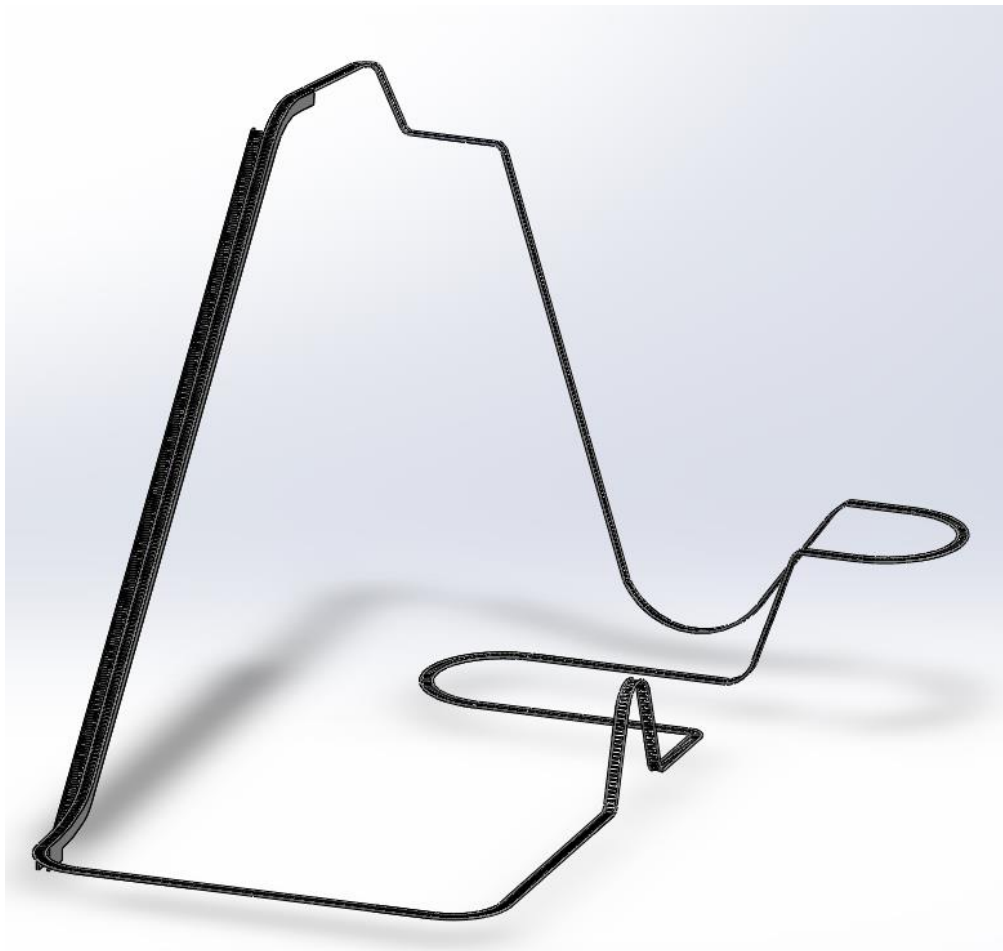


# TREBALL FINAL DE GRAU: DISSENY I ESTUDI D'UNA MUNTANYA RUSSA



Autor: Óscar García Romero

Tutor: Jordi Vives Costa

Curs: 17/18

# ÍNDEX

1. INTRODUCCIÓ.....	pàg.10
1.1 Abast del treball.....	pág.10
1.2 Motivació.....	pág.10
1.3 Objectiu del treball.....	pág.10
1.4 Resum.....	pág.11
1.5 Abstract.....	pág.11
1.6 Revisió final.....	pág.12
2. CONTEXT TEÒRIC.....	pàg.13
2.1 Introducció.....	pág.13
2.2 Evolució històrica.....	pág.15
2.3 Normativa.....	pág.23
2.4 Classificació de les muntanyes russes.....	pág.26
2.5 Elements principals d'una atracció.....	pág.30
2.6 Parts principals del vagó.....	pág.37
2.7 Suports i fonaments.....	pág.40
3. DISSENY DEL VAGÓ.....	pàg.42
4. DISSENY DE LA VIA.....	pàg.50
5. DISSENY FORMAL.....	pàg.58
5.1 Disseny de la via.....	pág.60
5.2 Massa del vagó.....	pág.67
5.3 Aerodinàmica del vagó.....	pág.71
5.4 Sistema de les rodes.....	pág.74

5.1 Dades finals.....	pág.79
<b>6. VALORACIÓ ECONÒMICA.....</b>	<b>pàg.82</b>
6.1 Cost d'enginyeria.....	pág.82
6.2 Cost de fabricació.....	pág.83
6.3 Cost dels components comercials.....	pág.85
6.4 Cost total del vagó.....	pág.85
<b>7. CONCLUSIÓ.....</b>	<b>pàg.86</b>
<b>8. BIBLIOGRAFIA I WEBGRAFIA.....</b>	<b>pàg.87</b>
<b>ANNEXOS.....</b>	<b>pàg.92</b>

## ÍNDIX DE FIGURES

Fig. 1.1 – Dibuix d'una muntanya russa. Font: gettyimages.....	pàg.10.
Fig. 2.1 – Parc d'atraccions Bakken. Font : Wikipedia (Dyrehavsbakken).	pàg.14
Fig. 2.2 – Russian Ice Slides. Font : Ultimaterollercoaster (Russiam Ice Slides, 1650).....	pàg.15
Fig. 2.3 – Muntanya russa The Aerial Walk. Font: LittleClickers (Roller Coasters) .....	pàg.15
Fig. 2.4 – Muntanya russa Switchback Railway. Font : Wikipedia (Switchback Railway).....	pàg.16
Fig. 2.5 – Muntanya russa Loop the Loop. Font : Revolvly (Loop the Loop).....	pàg.17
Fig. 2.6 – Muntanya russa The Cyclone. Font : Fortune (Coney Island).....	pàg.17
Fig. 2.7 – Muntanya russa Matterhorn Bobsleds. Font : Wikipedia (Matterhorn Bobsleds).....	pàg.18
Fig. 2.8 – Muntanya russa Magic Mountain's Revolution. Font: The coaster Guy (The Revolution).....	pàg.18
Fig. 2.9 – Muntanya russa Orient Express. Font :rcbd (Orient Express) ...	pàg.19
Fig. 2.10 – Muntanya russa Magnum XL-200. Font :rcbd (Magnum XL-200).....	pàg.19
Fig. 2.11 – Muntanya russa Batman: The Ride. Font :Six Flags (Batman The Ride).....	pàg.20
Fig. 2.12 – Estació Flight of Fear en Kings Island. Font: Wikipedia.....	pàg.20
Fig. 2.13 – Muntanya russa Millennium Force. Font: Coasterpedia (Millenniun Force).....	pàg.21
Fig. 2.14 – Muntanya russa X. Font: Wikipedia (X2 roller coaster).....	pàg.21
Fig. 2.15 – Muntanya russa Top Thrill Dragster. Font: rcdb (Top Thrill Dragster).....	pàg.22
Fig. 2.16 – Muntanya russa Kingda Ka. Font: Six flags (Kingda-ka).....	pàg.22
Fig. 2.17 – Logo ajuntament de Manresa. Font: Ajuntament de Manresa..	pàg.23

Fig. 2.18 – Muntanya russa Millennium Force. Font: Parc d'atraccions Cedar Point.....	pàg.26
Fig. 2.19 – Muntanya russa Batman Parc Warner Madrid. Font: Parque Warner.....	pàg.26
Fig. 2.20 – Muntanya russa Manta, Parc Seaworld, Orlando. Font: Parc d'atraccions SeaWorld San Diego.....	pàg.27
Fig. 2.21 – Muntanya russa Inferno, Parc Terra Mítica , Benidorm. Font: Parc d'atraccions Terra Mítica.....	pàg.27
Fig. 2.22 – Muntanya russa X2, Parc Six Flags. Font: Six Flags.....	pàg.27
Fig. 2.23 – Muntanya russa El Tren de la Mina, Parc Port Aventura. Font: Port Aventura World.....	pàg.28
Fig. 2.24 – Sistema de frenat d'una muntanya russa. Font: Tecnologías en los parques de diversiones.....	pàg.30
Fig. 2.25 – Disc de fre per frenar el vagó. Font: Sistema de frenados.....	pàg.30
Fig. 2.26 – Pneumàtic d'impulsió. Font: Sistema de frenados.....	pàg.31
Fig. 2.27 – Parts d'un fre magnètic. Font: Sistema de frenados.....	pàg.31
Fig. 2.28 – Cadena impulsora del vagó. Font: El País, Como es montar en la montaña rusa más grande del mundo.....	pàg.32
Fig. 2.29 – Esquema del funcionament del anti-rollback. Font: WESMethod.....	pàg.33
Fig. 2.30 – Muntanya russa Wonder Woman Coaster, Six flags Mexico. Font: Six Flags.....	pàg.33
Fig. 2.31 – Muntanya russa Soarin' Eagle, Coney Island. Font: Coney Island.....	pàg.34
Fig. 2.32 – Fonament del motor d'inducció lineal utilitzats en els llançaments. Font: Kimerius Aircraft.....	pàg.35
Fig. 2.33 – Formula Rossa, Ferrari World, Abu Dhabi. Font: Ferrari World Abu Dhabi.....	pàg.35
Fig. 2.34 – Dodonpa, en Fuji-Q Highland. Font: Thousand Wonders.....	pàg.36
Fig. 2.35 – Sistema de rodes en un vagó. Font: Bloc, Tecnología de los parques de diversiones.....	pàg.37

Fig. 2.36 – Construcció de Red Force, Port Aventura. Font: Restaurant hotel bar, La nueva montaña rusa más alta de Europa,.....	pàg.40
Fig. 2.37 – Forces que hi actuen en el formigó. Font: ¿Qué es el hormigón armado?.....	pàg.41
Fig. 3.1 – Croquis de l'opció 1. Font: Paint.....	pàg.42
Fig. 3.2 – Furius Baco, Port Aventura. Font: Port Aventura World.....	pàg.42
Fig. 3.3 – Croquis de l'opció 2. Font: Paint.....	pàg.43
Fig. 3.4 – Crush's Coaster, Parc DisneyLand Paris. Font: Disneyland Paris.....	pàg.43
Fig. 3.5 – Croquis de l'opció 3. Font: Paint.....	pàg.44
Fig. 3.6– Millennium Force, en Cedar Point. Font: Cedar Point.....	pàg.44
Fig. 3.7 – Disseny final del vagó. Font: SolidWorks.....	pàg.46
Fig. 3.8 – Croquis del seient. Font: Paint.....	pàg.48
Fig. 3.9 – Disseny final del seient. Font: SolidWorks.....	pàg.49
Fig. 4.1 – Loop en Shock Wave, Six Flags Texas. Font: Coasterpedia.....	pàg.50
Fig. 4.2 – Dive Loop en Chang, Kentucky Kingdom. Font: Coaster Force.....	pàg.51
Fig. 4.3 – Inclined Loop en Chang, Kentucky Kingdom. Font: Coasterpedia.....	pàg.51
Fig. 4.4 – Top Hat en Kingda Ka, Six Flags Great Adventure. Font: Coasterpedia.....	pàg.52
Fig. 4.5 – Pretzel loop en Superman Ultimate Flight, Six Flags. Font: Coaster Force.....	pàg.52
Fig. 4.6 – Corkscrew en Cedar Point. Font: Coasterpedia.....	pàg.53
Fig. 4.7 – Cobra Roll en Dragon Khan, Port Aventura. Font: Port Aventura World.....	pàg.53
Fig. 4.8 – Croquis de l'opció 1. Font: Paint.....	pàg.54
Fig. 4.9 – Croquis de l'opció 2. Font: Paint.....	pàg.55
Fig. 4.10 – Croquis de l'opció 3. Font: Paint.....	pàg.56

<i>Fig. 4.11 – Disseny final de la muntanya russa. Font: SolidWorks.....</i>	<i>pàg.57</i>
<i>Fig. 5.1 – Força neta en diferents trams d'una muntanya russa. Font:</i>	
<i>Divulgadores, física y montañas rusas.....</i>	<i>pàg.59</i>
<i>Fig. 5.2 – Croquis de la planta i alçat de la pista de rails. Font: Montañas rusas</i>	
<i>y la conservación de la energia.....</i>	<i>pàg.60</i>
<i>Fig. 5.3 – Vista superior de la muntanya russa. Font:Solidworks.....</i>	<i>pàg.61</i>
<i>Fig. 5.4 – Croquis de la muntanya russa amb les diferents divisions.</i>	
<i>Font: Solidworks.....</i>	<i>pàg.62</i>
<i>Fig. 5.5 – Croquis de la muntanya russa amb les cotes dels radis horitzontals</i>	
<i>de tot el recorregut. Font:Solidworks.....</i>	<i>pàg.63</i>
<i>Fig. 5.6 – Croquis del tram 6-19 amb els diferents radis verticals.</i>	
<i>Font:Solidworks.....</i>	<i>pàg.64</i>
<i>Fig. 5.7 – Croquis del tram 21-22 amb els diferents radis verticals.</i>	
<i>Font:Solidworks.....</i>	<i>pàg.64</i>
<i>Fig. 5.8 – Croquis del tram 23-32 amb els diferents radis verticals.</i>	
<i>Font:Solidworks.....</i>	<i>pàg.65</i>
<i>Fig. 5.9 – Croquis del tram 32-34 amb els diferents radis verticals.</i>	
<i>Font:Solidworks.....</i>	<i>pàg.65</i>
<i>Fig. 5.10 – Croquis del tram 39-42 amb els diferents radis verticals.</i>	
<i>Font:Solidworks.....</i>	<i>pàg.66</i>
<i>Fig. 5.11 – Croquis del tram 52-58 amb els diferents radis verticals.</i>	
<i>Font:Solidworks.....</i>	<i>pàg.66</i>
<i>Fig. 5.12 – Assemblatge final del vagó amb els seus materials corresponents.</i>	
<i>Font: Solidworks.....</i>	<i>pàg.69</i>
<i>Fig. 5.13 – Croquis de la roda de carga de Nylon. Font: Blickle, catàleg de</i>	
<i>rodes industrials.....</i>	<i>pàg.74</i>
<i>Fig. 5.14 – Croquis de les rodes guia de Nylon. Font: Blickle, catàleg de rodes</i>	
<i>Industrials.....</i>	<i>pàg.75</i>
<i>Fig. 5.15 – Croquis de les rodes de seguretat d'elastòmer de poliuretà. Font:</i>	
<i>Blickle, catàleg de rodes industrials.....</i>	<i>pàg.76</i>

*Fig. 5.16 – Muntatge final del sistema de rodes. A dalt la roda de carga. En el mig les dues rodes guia. A sota la roda de seguretat . Font: SolidWorks..pàg.76*

*Fig. 5.17 – Rodament d'un cilindre deformable sobre un paviment no deformable. Font: Wikipedia, resistència al rodament.....pàg.77*

*Fig. 5.18 – Croquis de la descomposició del pes i la força N en un cos en pendent. Font: Paint.....pàg.79*

## ÍNDEX DE TAULES

*Taula 1.1 – Diagrama de Gramt sobre els apartats que s'han dut a terme. Font: Excel.....pàg.12*

*Taula. 3.2 – Comparació dels tres models. Font: Word.....pàg.45*

*Taula. 3.2 – QFD del vagó. Font: Excel.....pàg.46*

*Taula. 3.3 – Taula antropomètrica, Les mesures de les tables estan en mm i el body weight en kg. Font: Anthropometric Reference Data for Children and Adults: United States, 2007–2010.....pàg.47*

*Taula 5.1 – Taula de diferents coeficients de rodament. Font: IEN, Rolling resistance and industrial wheels.....pàg.78*

*Taula. 6.1 – Taula del preu de tarifa dels diferents professionals. Font: Norma UNE-EN 13814.....pàg.82*

*Taula. 6.2 – Taula del preu dels operaris en els diferents àmbits. Font: Excel.....pàg.82*

*Taula. 6.3 – Taula de la tarifa de diferents màquines de fabricació. Font: Excel.....pàg.83*

*Taula. 6.4 – Taula de la fabricació de la carrosseria del vagó. Font: Excel. ....pàg.83*

*Taula. 6.5 – Taula de la fabricació dels eixos de les rodes del vagó. Font: Excel.....pàg.84*

*Taula. 6.6 – Taula de la fabricació dels seients. Font: Excel.....pàg.84*



*Taula. 6.7 – Taula dels elements convencional. Font: Excel.....pàg.85*

*Taula. 6.8 – Taula del cost definitiu del vagó. Font: Excel.....pàg.85*

## ÍNDEX DE GRÀFIQUES

*Gràfica 5.1 – Força d'arrossegament del vagó segons la velocitat de l'aire.*

*Font: Excel.....pàg.72*

*Gràfica 5.2 – Taula de l'altura màxima per cada punt estudiat de la muntanya*

*rusa. Font: Excel.....pàg.80*

*Gràfica 5.3 – Taula de la velocitat màxima per cada punt estudiat de la*

*mntanya russa. Font: Excel.....pàg.81*

# 1.INTRODUCCIÓ

## 1.1 ABAST DEL TREBALL

Aquest projecte correspon al *Treball de Final de Grau* en Enginyeria Mecànica. El tema escollit parlarà sobre el disseny i estudi d'una muntanya russa. Aprofitant el grau d'enginyeria mecànica, estudiaré el comportament de la conservació de l'energia i totes les seves forces relacionades.



Fig. 1.1 – Dibuix d'una muntanya russa. Font: gettyimages.

## 1.2 MOTIVACIÓ

L'elecció del tema ve donada per la curiositat que tinc sobre aquest àmbit. Sempre m'ha agradat saber com funciona aquest món i poder entendre-ho casi a la perfecció, ja que m'agradaria dedicar-me en un futur a ser enginyer de muntanyes russes. També hem crida l'atenció la relació que hi entre la mecànica i el disseny en el món de les atraccions.

## 1.3 OBJECTIUS DEL TREBALL

L'objectiu principal d'aquest treball serà comprendre aquest fascinant món d'atraccions i poder dissenyar una muntanya russa segons totes les normatives i seguretats a regla, un vagó satisfactori per als clients i una via.

## 1.4 RESUM

En aquest projecte és realitzarà un disseny i un estudi d'una muntanya russa, on s'expliquen els conceptes generals de la física en un parc d'atraccions, els diferents tipus d'atraccions i de elements que existeixen, i altres aspectes de rellevància.

Després de realitzar un estudi teòric de les muntanyes russes, és confeccionarà un cas pràctic, on és dissenyarà una muntanya russa i el seu vagó corresponent. Posteriorment es realitzaran tots els càlculs corresponents per a que la muntanya russa pugui funcionar de forma correcta.

L'objectiu final del projecte és realitzar un disseny correcte i viable d'una muntanya russa, per tal que la seguretat sigui idònia.

## 1.5 ABSTRACT

In this project i will do a design and study of a roller coaster, which I will explain the general concepts of physics at an amusement park, the different types of attractions and elements that exist, and other aspects of relevance .

After finish the theoretical study of the russian mountains, a practical case will be made, where a roller coaster and its corresponding wagon will be designed. Subsequently all the corresponding calculations will be made so that the roller coaster can function correctly.

The final objective of the project is to make a correct and viable design of a roller coaster with the correct security.

## 1.6 REVISIÓ FINAL

Apartats		Febrer	Març	Abril	Maig	Juny	Juliol
Introducció							
Context teòric	Introducció						
	Evolució històrica						
	Normativa						
	Classificació						
	Elements						
	Parts vagó						
	Suports						
Disseny vagó							
Disseny via							
Disseny formal	Disseny via						
	Massa vagó						
	Aerodinàmica						
	Rodes						
	Dades finals						
Valoració econòmica	Cost enginyeria						
	Cost fabricació						
	Cost comerç						
	Cost total						
Conclusió							
Webgrafia							

Taula 1.1 – Diagrama de Gramt sobre els apartats que s'han dut a terme. Font: Excel

## 2.CONTEXT TEÒRIC

### 2.1 INTRODUCCIÓ

#### Què és una muntanya russa?

Una muntanya russa correspon a un tipus d'atracció consistent en un sistema de rails, que formen una o varies vies que pugen i baixen en circuits dissenyats específicament. Per aquests rails llisquen els vagons els quals viatgen els passatgers de forma segura. Els vagons ascendeixen les pujades mitjançant una cadena o un cable accionat per un motor i després descendeixen per efecte de la gravetat, provocant una acceleració.

En el descens pot haver una o varies inversions. Entre elles, la més coneguda és el *looping* vertical, que deixa als passatgers cap avall un breu espai de temps. La majoria de les muntanyes russes tenen vagons per dos, quatre, sis, vuit o fins y tot vint viatgers cadascú. El conjunt de tots el cotxes units formen un tren. La pista pot no definir un circuit tancat , en aquest cas es parla de muntanya russa tipus *shuttle*.

La muntanya russa deu el seu origen a les diversions desenvolupades durant l'hivern en Rússia, on existien grans tobogans de fusta que es descendien amb trineus lliscants sobre la neu. Els russos parlaven d'aquest fet com *Amyerikánskiye gorki* o muntanya americana. També van ser conegudes en

França on van afegir els carros de tren a vies en desús i, finalment, van arribar a Estats Units, on se les va denominar *roller coasters*, i són una popular atracció dissenyada per fires, parcs d'atraccions i parcs temàtics.

Una muntanya russa manca de sentit fora d'un parc d'atraccions, on hi destaquen els parcs temàtics.

#### Què és un parc d'atraccions?

És un grup d'atraccions d'entreteniment, per muntar-se i altres esdeveniments en un lloc per la diversió d'un gran numero de persones. Els parcs d'atraccions

tenen una ubicació fixa, al contrari que les fires i estan més elaborats que els simples parcs de ciutat o parcs infantils. Ofereixen atraccions destinades a atendre específicament a certs grups d'edat. Un parc temàtic, un tipus específic de parc d'atraccions, normalment estan molt més dedicats a cert tema o grup de temes que aquests parcs normals.

Els parcs d'atraccions van evolucionar de les fires europees i jardins d'esbarjo que van ser originats per l'entreteniment de la gent en Occident.

### **Què és un parc temàtic?**

És el nom genèric que s'utilitza per denominar a un recinte amb un conjunt d'atraccions, espais per l'oci, entreteniment, educació i cultura, normalment organitzades en torn a una línia argumental en les serveis d'atracció. Per aquesta raó, un parc temàtic és molt més complex que un parc d'atraccions o una fira. Això implica que hi vagui lligat a un projecte empresarial més sòlid i amb importants inversions econòmiques.

Per a què el funcionament d'un parc temàtic sigui correcte, el tema en que hi està inspirat ha de ser cridaner i que contrasti amb la vida diària de la gent. Dins d'un parc temàtic es pot distingir de comercials, que descriuen elements temàtics i que entretenen o de històrics, que fan èmfasi en fets històrics i mostra una educació al públic.

El parc d'atraccions més antic del món es troba en Klampenborg, Copenhague, anomenat *Bakken*, també conegut com *Dyrehavsbakken*, va ser obert al públic en el 1583.



Fig. 2.1 – Parc d'atraccions Bakken. Font : Wikipedia (Dyrehavsbakken)

## 2.2 EVOLUCIÓ HISTÒRICA

Més de 300 milions de persones gaudeixen d'aquests parcs d'atraccions cada any. Però per a que totes aquestes persones puguin visitar aquests recintes ens hem de reprendre a fets històrics per arribar a la actualitat.

### Segle XV – XIX:

Com ja hem explicat en l'apartat de l'explicació de lo que és una muntanya russa, la idea es va originar en Rússia. Les primeres muntanyes russes eren construïdes per tobogans de gel per el públic durant les festes i celebracions que hi havia en Moscou i San Petersburg. Consistien en baixades de més o menys 50 graus de inclinació. El seu record d'altura és de 22 metres d'altura.

Després d'un temps, la reialesa russa es va interessar per aquests tobogans de gel i durant el segle XIX, aquests es van tornar cada vegada més satisfactoris i van començar a conèixer-se com Muntanyes Voladores.



Fig. 2.2 –Muntanya russa Russian Ice Slides. Font :  
Ultimaterollercoaster (Russiam Ice Slides, 1650)

### Any 1817:

La primera muntanya russa va ser inaugurada en 1817 en Paris. Va ser construïda per Nicolas Beaujon (1708-1786), banquer de la Cort de Lluís XVI. Es recorda amb els noms Promenades-Aériennes o The Aerial Walk.



Fig. 2.3 Muntanya russa The Aerial  
Walk. Font: LittleClickers (Roller  
Coasters)

Els passatgers s'embarquen en la part inferior de l'ascensió central, en elegants automòbils de tres rodes i després per els dos rails laterals corbats abans de regressar al punt de partida. Els vagons podien arribar a assolir quasi 60 km/h.

### **Any 1884:**

Coney Island, Brooklyn, va donar a conèixer la primera muntanya russa dissenyada com un passeig de diversió en Estats Units, *Switchback Railway*. Va ser dissenyada per LaMarcus Adna Thompson en 1881 i va ser construïda en 1884. El disseny ve donat per la inspiració en el Mauch Chunk Switchback Railway, que era un tren d'extracció de carbó que havia començat a transportar passatgers com una emoció.

Els passatgers pujaven a una torre per pujar al gran vagó i eren empesos fins la costa a 183 metres per la pista. El vagó assolía poc més de 9,7 km/h. En la part superior de l'altre torre, el vehicle es canviava a una pista de retorn, d'aquí el nom de l'atracció.

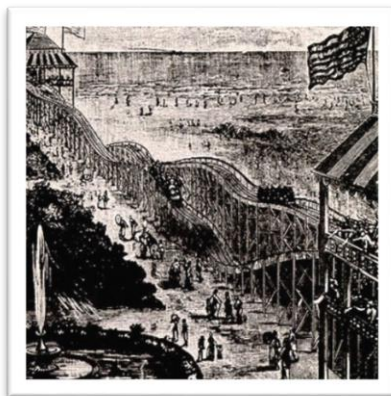


Fig. 2.4 – Muntanya russa Switchback Railway. Font : Wikipedia  
(Switchback Railway)

### **Any 1901:**

*Loop the Loop* va ser una muntanya russa d'acer de doble trajecte que es va construir també en Coney Island que va estar en actiu fins 1910. Va ser la primera muntanya russa amb bucles en Amèrica del Nord. Va ser dissenyada per Edward Green i fabricada per Edwin Prescott.



Utilitzava un innovador bucle el·líptic que alleujava les forces de la gravetat. Els vagons utilitzaven pneumàtics reals i l'única cosa que sostenia els vagons en la pista era una petita barana lateral. Tot era molt primitiu.



Fig. 2.5 – Muntanya russa Loop the Loop. Font : Revolvly (Loop the Loop)

### Any 1927:

*The Cyclone* es la muntanya russa més coneguda històricament de Coney Island. Es va inaugurar el 26 de juny de 1927 i era part del parc temàtic *Astroland*. Va ser declarada fita de la ciutat De New York el 12 de juliol de 1988 i inclosa en el *Registre Nacional de Llocs Històrics* el 26 de juny de 1991.

La pista consta de 800 metres de longitud i l'elevació en el seu punt màxim és de 26 metres, on la seva primera gota es troba amb un angle de  $58.1^\circ$ . Té tres trens de tres vagons per vuit persones amb una velocitat màxima de 97 km/h.



Fig. 2.6 – Muntanya russa The Cyclone. Font : Fortune (Coney Island)

### Any 1959:

En Disneyland, Anaheim California, es va construir *Matterhorn Bobsleds* que consisteix a un par de muntanyes russes entrelaçades entre si. És cent vegades més petita que la muntanya original que es troba en els Alps de 4,480m. Va ser la primera muntanya russa de trajectòria continua d'acer tubular. Arriba a una velocitat de 43,5 km/h.

En l'atracció pots escollir dues rutes. Una et porta per *Fantasyland* i l'altre per *Tomorrowland*.



Fig. 2.7 – Muntanya russa Matterhorn Bobsleds. Font : Wikipedia (Matterhorn Bobsleds)

### Any 1976:

En *Six Flags Magic Mountain*, parc temàtic en Valencia, Califòrnia, es va inaugurar la atracció anomenada *Revolution*. Va ser fabricada per Anton Schwarzkopf i dissenyat per Werner Stengel i va ser oberta al públic el 8 de maig de 1976. És la primera muntanya russa moderna on hi apareix un looping, un gir de 360°.



Fig. 2.8 – Muntanya russa Magic Mountain's Revolution.

Font : The coaster Guy (The Revolution)

**Any 1980:**

En el parc d'atraccions *Worlds of Fun*, Kansas City, Missouri, es va inaugurar en 1980 la muntanya russa *Orient Express*. Va ser la primera muntanya russa en tindre un “Kamikaze Curve”, que consisteix en un ascens de 90° cap a la dreta o cap a l'esquerra, després ve una meitat d'un *loop* i una altre meitat de *loop* ascendent i per finalitzar una immersió final de 90 graus que envia la pista en la mateixa direcció en la que va entrar el vehicle.

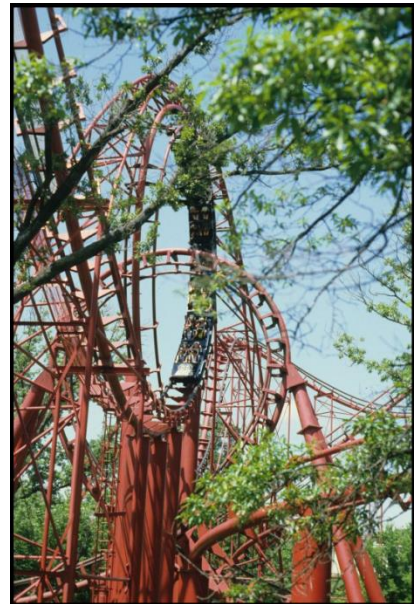


Fig. 2.9 – Muntanya russa Orient Express. Font :rcbd (Orient Express)

**Any 1989:**

*Magnum XL-200* és una muntanya russa d'acer construïda per Arrow Dynamics en Cedar Point, Sandusky, Ohio. Va ser l'atracció més alta, més ràpida i més empinada del moment. Supera els 61 metres d'altura. Gracies a *Magnum XL-200* va començar una “guerra” per veure qui podia construir la muntanya russa més alta i més ràpida del món.



Fig. 2.10 – Muntanya russa Magnum XL-200. Font :rcbd (Magnum XL-200)

**Any 1992:**

*Batman: The Ride* va ser la primera muntanya russa invertida i esta basada temàticament de la pel·lícula *Batman* de 1989. Va ser construïda per els enginyers consultors Bolliger & Mabillard i assoleix una altura de 30 i 32 metres i arriba a una velocitat de 80 km/h. La muntanya russa original es troba en *Six Flags Great America*, i ha sigut guardonada amb l'estatus de Coaster Landmark per els American Coaster Enthusiasts.



Fig. 2.11 – Muntanya russa *Batman: The Ride*. Font :Six Flags (*Batman The Ride*)

**• Any 1996:**

*Flight of Fear*, també coneguda com *The Outer Limits: Flight of Fear*, és una muntanya russa que va ser inaugurada a la vegada en dos parcs d'atraccions de Cedar Fair, en Kings Dominion i en Kings Island en 1996. Van ser les primeres muntanyes russes del món en presentar un motor de inducció lineal (LIM). Això permet eliminar la necessitat d'una rampa d'elevació del vagó mitjançant cadenes.

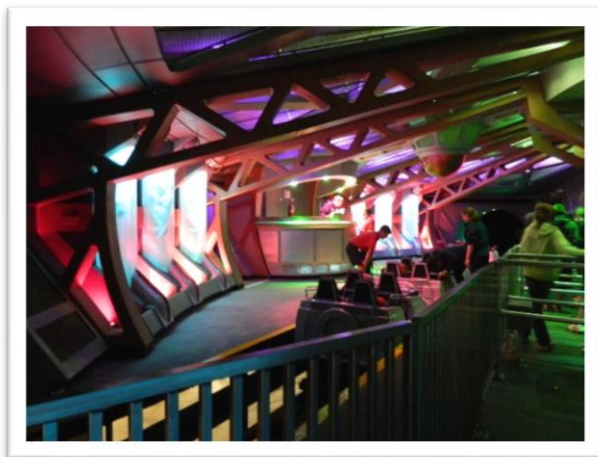


Fig. 2.12 – Estació *Flight of Fear* en Kings Island. Font: Wikipedia



### Any 2000:

Millennium Force és una muntanya russa d'acer construïda per Intamin al parc d'atraccions Cedar Point a Sandusky, Ohio, Estats Units. Va trencar sis rècords mundials i va ser la primera Giga Coaster en el món, una muntanya russa que supera els 300 peus (91 m) altura.

Va ser la primera muntanya russa a utilitzar un sistema d'elevació de cable en lloc d'un elevador de cadena tradicional. La muntanya posseeix un turó elevat de 310 peus (94 m) i 45 graus amb una baixada de 300 peus (91 m) i compta amb dos túnels, tres voltes sobrevoltades i quatre turons. Té una velocitat màxima de 93 mph (150 km / h).



Fig. 2.13 – Muntanya russa Millennium Force. Font: Coasterpedia (Millennium Force)

### Any 2002:

$X^2$ , també conegut com  $X$ , és una muntanya russa d'acer que es troba en el parc temàtic Six Flags Magic Mountain de València, Califòrnia. És la primera muntanya russa en el món que implanta la 4<sup>a</sup> Dimensió. Els seients dels trens es mouen 360 graus cap a endavant i, en sentit invers, independent del xassís principal.



Fig. 2.14 – Muntanya russa  $X$ . Font: Wikipedia ( $X^2$  roller coaster)

**Any 2003:**

*Top Thrill Dragster* és una muntanya russa de tipus accelerador d'acer fabricada per Intamin a Cedar Point a Sandusky, Ohio, Estats Units. Va ser la primera muntanya russa completa que superava els 400 peus (120 m) d'alçada i era la muntanya russa més alta del món.



Fig. 2.15 – Muntanya russa Top Thrill Dragster. Font: rcdb (Top Thrill Dragster)

**Any 2005:**

*Kingda Ka* és una muntanya russa de tipus accelerador d'acer situada a Estats Units a Jackson, Nova Jersey. És la muntanya russa més alta del món, la segona muntanya russa més ràpida del món, i va ser la segona muntanya estratificada mai construïda.

El tren es posa en marxa per un mecanisme de llançament hidràulic a 128 milles per hora (206 km / h) en 3,5 segons. Al final de la pista de llançament, el tren puja a la torre principal de barrets, que arriba a una altura de 456 peus (139 m) i s'estén sobre una pista de 3.118 peus de llarg (950 m) al final del recorregut.



Fig. 2.16 – Muntanya russa Kingda Ka.  
Font: Six flags (Kingda-ka)

## 2.3 NORMATIVA

En aquest apartat es presentaran els diferents documents necessaris per obtenir la llicència d'instal·lació d'una atracció de fira. La localització d'aquesta atracció es situarà en Manresa.



Fig. 2.17 – Logo ajuntament de Manresa. Font: Ajuntament de Manresa

Llicència per una atracció de fira en una via pública:

<https://www.manresa.cat/seu/menu/fitxa/721>

La normativa del ajuntament és la següent:

- **Llei 33/2003**, de 3 de novembre, de Patrimoni de les Administracions Públiques; i el RD 1373/2009, de 28 d'agost (reglament de la llei).
- **Decret 336/1988**, de 17 d'octubre, pel qual s'aprova el Reglament del Patrimoni dels Ens Locals de Catalunya.
- **Decret Legislatiu 1/1993**, de 9 de març, sobre comerç interior.
- **Llei 11/2009**, de 6 de juliol, de regulació administrativa dels espectacles públics i activitats recreatives.
- Ordenança municipal reguladora de la intervenció administrativa d'activitats, instal·lacions i serveis.
- Ordenança fiscal núm. 17 reguladora de la taxa per la utilització privativa del domini públic amb atraccions.
- Ordenança fiscal núm. 11 reguladora de la taxa per a la intervenció administrativa en l'autorització, exercici i funcionament d'activitats de qualsevol naturalesa.

Els certificats necessaris son els següents:

- Certificat d'homologació de les atraccions ( declaració de conformitat CE o documentació tècnica d'adequació acreditativa).
- Certificat de la revisió anual de la instal·lació, emès per el tècnic competent o instal·lador especialment capacitat.
- Certificacions tècniques corresponents als muntatges i instal·lacions efectuades en el lloc de emplaçament per el personal tècnic dels titulars de les atraccions, en el que ha de constar que el conjunt de l'atracció funciona correctament.

### **NORMATIVA DE SEGURETAT (disseny i muntatge):**

#### **UNE-EN 13814 – Maquinaria i estructures per parcs i fires d'atraccions**

Cada any s'ha de realitzar una parada tècnica on les atraccions es sotmeten a una inspecció exhaustiva per comprovar el compliment de la normativa UNE-EN 13814-2006.

La principal companyia que realitza aquestes inspeccions als diferents parcs temàtics de l'Estat espanyol és *Tüv süd atisae*.

Realitzen diferents tipus de inspeccions classificades en elèctriques i en mecàniques.

### **NORMATIVA DE BAIXA TENSIÓ:**

#### **REIAL DECRET 842/2002 – Reglament electrotècnic per baixa tensió**

#### **REIAL DECRET 363/2004 – Aplicació del reglament electrotècnic per baixa tensió**

Es necessita un certificat de legalització elèctrica de baixa tensió. Un model emès per el departament de treball o industria per atraccions de fira amb instal·lació pròpia.



### **NORMATIVA CONTRA INCENDIS:**

**LLEI 3/2010** – Prevenció i seguretat en matèria d'incendis en establiments, activitats, infraestructures i edificis.

**REIAL DECRET 1942/1993** – Reglament de instal·lacions de protecció contra incendis.

### **NORMATIVA DE ESTRUCTURA:**

**DECRET 195/2007** – Condicions generals per la celebració d'espectacles públics i activitats recreatives de caràcter ocasional i extraordinari.

## 2.4 CLASSIFICACIÓ DE LES MUNTANYES RUSSES

Les muntanyes russes es classifiquen segons el tipus de material dels rails, que pot ser de fusta o d'acer. Les atraccions de fusta es caracteritzen per tindre la via en forma de fusta laminada, mentre que les d'acer la via esta formada per dos rails tubulars d'acer.

### MUNTANYES RUSSES D'ACER

Els models d'acer no necessiten d'una estructura de suport complexa per la seva construcció i això permet que es pugui incloure grans girs, inversions, grans baixades i poder assolir altes velocitats.

Dins d'aquest ampli grup de muntanyes russes es poden trobar diferents tipus d'atraccions d'acer.

- Estil clàssic. Els vagons són conduïts per sobre les vies.



Fig. 2.18 – Muntanya russa Millennium Force. Font: Parc d'atraccions Cedar Point.

- Estil invertit. Els vagons estan situats per sota els rails.



Fig. 2.19 – Muntanya russa Batman Parc Warner Madrid. Font: Parque Warner.

- Estil flying. Els passatgers es troben tombats per sota les vies i dona la sensació que estiguin volant.



Fig. 2.20 – Muntanya russa Manta, Parc Seaworld, Orlando. Font: Parc d'atraccions SeaWorld San Diego.

- Estil 4D. Es pot girar en 360 graus al voltant del seient durant el viatge.



Fig. 2.21 – Muntanya russa Inferno, Parc Terra Mítica, Benidorm. Font: Parc d'atraccions Terra Mítica.

- Estil X2. Inclou efectes espacials i sons per millorar l'experiència.



Fig. 2.22 – Muntanya russa X2, Parc Six Flags. Font: Six Flags

## MUNTANYES RUSSES DE FUSTA

Una muntanya russa de fusta, també coneguda com *woodie*, té una estructura formada per una armadura de fusta i els seus rails estan fets de fusta folrats per una lamina d'acer. Normalment la via és de fusta i l'estructura de perfils d'acer.

Actualment, segons Roller Coaster DataBase hi ha 198 muntanyes russes de fusta per tot el món, 129 en Amèrica del Nord, 42 en Europa, 24 en Àsia, 2 en Austràlia i 1 en Sud Amèrica.

Degut als límits de la fusta, les muntanyes russes no tenen inversions o corbes extremadament peraltades. Els principals elements són les hèlix que proporcionen elevades forces de gravetat, i les dobles baixades, que consisteixen en dos baixades de forma continua amb un tram pla en lloc d'una sola baixada, que produeix una sensació de *air time*.



Fig. 2.23 – Muntanya russa El Tren de la Mina, Parc Port Aventura. Font: Port Aventura World.



## MUNTANYES RUSSES D'ACER VS MUNTANYES RUSSES DE FUSTA

- **El cost.** L'acer és un material més car que la fusta i és més difícil de dissenyar. Però el cost de manteniment de les muntanyes russes d'acer són significativament més baixos.
- **L'estil.** A diferència de les muntanyes russes d'acer, les atraccions de fusta poden oferir una experiència de carreres úniques ja que tenen moviments més tremolosos, girs i voltes ràpides. Les muntanyes russes d'acer ofereixen un trajecte més suau que provoca que normalment no és gaudeixi tant com en el cas de les de fusta.
- **La família.** Les muntanyes russes d'acer són construïdes principalment amb l'objectiu de tenir un trajecte "fort", on hi pot incorporar grans velocitats, bucles, trams de inversió, etc. Això provoca que els nens i molta gent que no li agradi les atraccions fortes no puguin gaudir d'aquesta emoció com en el cas de les de fusta.

Si parlem de sensacions, són molt diferents entre elles. Les muntanyes russes de fusta presenten una major sensació salvatge, un cert efecte psicològic que indueix a mostrar temor. I en el cas de les atraccions d'acer presenten una sensació de pura velocitat, on la majoria del trajecte pots estar invertit o donant girs de 360° sense parar.

## 2.5 ELEMENTS PRINCIPALS D'UNA ATRACCIÓ

Les muntanyes russes estan compostes per diferents elements, que són les parts fonamentals per un bon disseny, un correcte funcionament y afegir una bona emoció a l'atracció.

- **Sistema de frenat.** La pista de frenat consta d'una secció de la pista que s'ocupa de frenar o fins i tot arribar a detenir el vagó de la muntanya russa. Pot estar ubicada en qualsevol part del circuit. La majoria de les muntanyes russes no presenten cap tipus de sistema de frenat en el vagó. Els frens es poden controlar de dos formes diferents, per un sistema informàtic o bé, per frens d'accionament manual, on els operadors de les atraccions controlen les palanques de la pròpia muntanya russa.

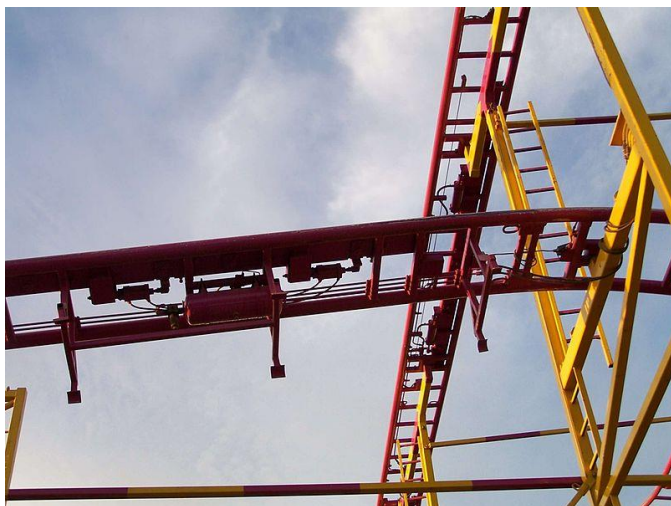


Fig. 2.24 – Sistema de frenat d'una muntanya russa. Font: Tecnologías en los parques de diversiones.

També existeixen els frens de bloqueig, que serveixen per parar completament el vagó. Normalment s'utilitzen quan hi ha més d'un tren per recorregut per evitar que si un tren patís alguna averia, el següent no xoqui contra ell.

Els principals tipus de frens són els següents:

- Frens de fricció. Estan formats per discos de fre de ceràmica, que al tocar amb el vagó aconseguix parar-lo. Actualment aquest sistema no s'utilitza ja que no és tant segur i té un alt cost de manteniment.



Fig. 2.25 – Disc de fre per frenar el vagó.  
Font: Sistema de frenados.

- Frens d'aleta. És el sistema de frenat més utilitzat al dia d'avui. Els vagons incorporen en la part inferior unes plaques de metall que al passar per unes pinces que hi ha situades en la via, aquestes es tanquen i comprimeixen la placa parant d'aquesta manera el vagó.
- Pneumàtics de impulsió o de compressió. Estan formats per dos pneumàtics que giren en sentit contrari del tren i d'aquesta manera arriben a parar el vagó. En canvi, si segueixen el sentit del tren, propulsarien el vagó.



Fig. 2.26 – Pneumàtic d'impulsió. Font: Sistema de frenados.

- Frens magnètics. Utilitzen únicament la força magnètica per parar la vagoneta. Uns imants molt potents situats en les vies produeixen un camp magnètic que accionen unes plaques situades en la part inferior de la vagoneta que fa parar el vagó.

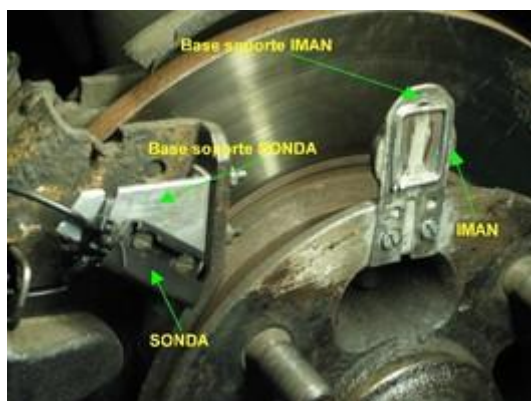


Fig. 2.27 – Parts d'un fre magnètic. Font: Sistema de frenados.

- **Unitat de pneumàtics.** Consta d'un motor pneumàtic utilitzat per propulsar la vagoneta en un determinat tram de la trajectòria. Normalment s'utilitzen més freqüentment en les àrees d'estació i en les pistes de fre. S'utilitzen per arribar a posar el vagó a una velocitat de 13-15 km/h de forma quasi immediata.

S'utilitzen de dos formes distintes. Si les llantes estan orientades horitzontalment, poden arribar a impulsar o parar el vagó comprimint un rail. Mentre que si estan orientades verticalment, al entrar en contacte amb la part inferior del vagó, en una àrea plana d'acer, que contribueix a la fricció dels pneumàtics per augmentar l'eficiència.

- **Mecanisme d'elevació.** Normalment es troba a la primera secció de la pista, on transporta el vagó a un punt elevat. Al arribar al cim, el tren es desenganxa de la cadena i adquireix energia potencial gravitatòria que li permet lliscar per la resta del circuit.

Hi ha diferents tipus de mecanismes d'elevació:

- Colina ascensora. És la més tradicional de totes, on la colina ascensora arrastra el tren fins el cim del tram. Un ganxo situat en la part inferior del tren, *dog chain*, s'introdueix en una cadena que hi ha situada en el centre de la via.

Un motor elèctric és l'encarregat d'accionar la cadena tirant del tren fins el cim més alt, on l'energia potencial és màxima. Gairebé totes les atraccions tenen implantats unitats de lubricació que hi van aplicant lubricant de forma periòdica a la cadena per reduir la fricció.



Fig. 2.28 – Cadena impulsora del vagó. Font: El País, Como es montar en la montaña rusa más grande del mundo.



El principal problema d'aquest mecanisme és el soroll que provoca el tren quan ascendeix la pujada mitjançant la cadena. Això es degut a un element de seguretat conegut com *anti-rollback dog*. És un dispositiu que es bloqueja en un esglaó de la colina en cas que hi aparegui un error, subjectant el tren de forma segura a la via.

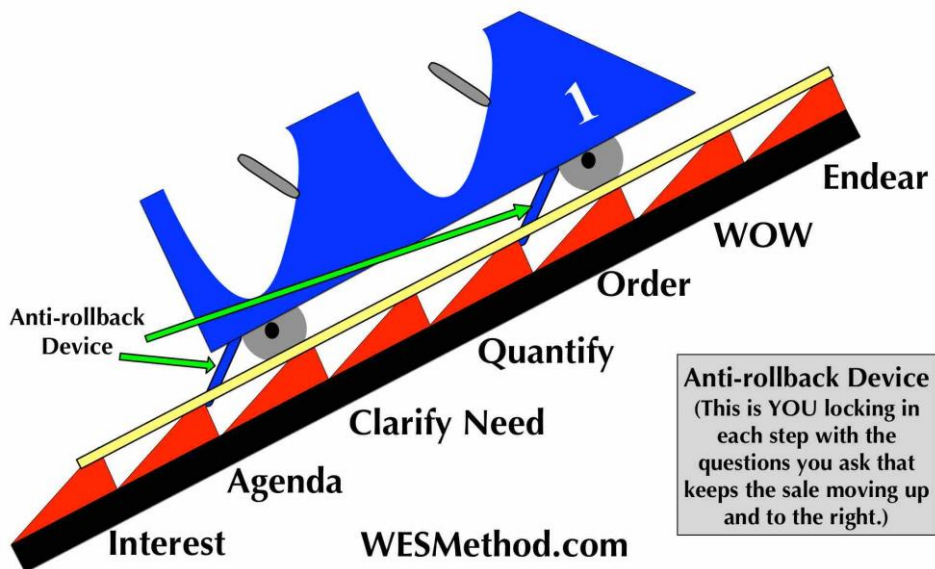


Fig. 2.29 – Esquema del funcionament del anti-rollback. Font: WESMethod

- Elevador vertical. Consta d'un mètode per poder obtenir la major quantitat d'energia potencial possible. El funcionament és molt similar a un ascensor tradicional, on un tros de pista s'eleva en línia recte fins el punt on s'uneix amb la resta de tram.



Fig. 2.30 – Muntanya russa Wonder Woman Coaster, Six flags Mexico. Font: Six Flags.

- Elevador en espiral. En aquest mecanisme són els propis vagons els que contenen petits motors elèctrics de tracció per tirar dels trens. Aquests estan units entre si amb un carril electrificat en el centre de la colina d'elevació proporcionant potencia als motors. Per aquesta raó només es pot utilitzar aquest mecanisme en elevacions en espirals, ja que necessiten un baix grau d'inclinació.



Fig. 2.31 – Muntanya russa Soarin' Eagle, Coney Island. Font: Coney Island

● **Mecanisme de llançament.** Poden actuar com a alternativa als mecanismes de elevació clàssics. L'energia potencial s'emmagatzema en forma d'electricitat o aire comprimit abans que sigui transferida al vagó a través de cables, sistemes pneumàtics o imants, i la converteix en energia cinètica.

Hi ha diferents tipus de mecanismes de llançament:

- Llançament electromagnètic. Utilitza impulsos elèctrics per atreure o repel·lir les aletes magnètiques dels vagons. L'estator i el rotor estan situats en línia produint una força lineal. Ofereix un control molt precís de la velocitat i l'acceleració de la posta en marxa es major al principi que en la resta del trajecte. Normalment s'utilitzen motors lineals d'inducció i motors lineals síncrons.

Els motors lineals d'inducció utilitzen múltiples sets d'electroimants d'alta potencia que es troben en la via. Entre cada set d'electroimant es deixa un buit on se li aplica corrent alterna per crear un camp magnètic.

Els motors lineals síncrons utilitzen els principis bàsics de magnetisme d'atracció i repulsió. Quan el vagó s'aproxima a un imant de la via, aquest atreu als imants del tren, empenyent-los cap endavant. Després que el vagó passi l'imant de la via, aquest s'inverteix per repel·lir el vehicle de l'imant produint així un altre empenta al vagó.

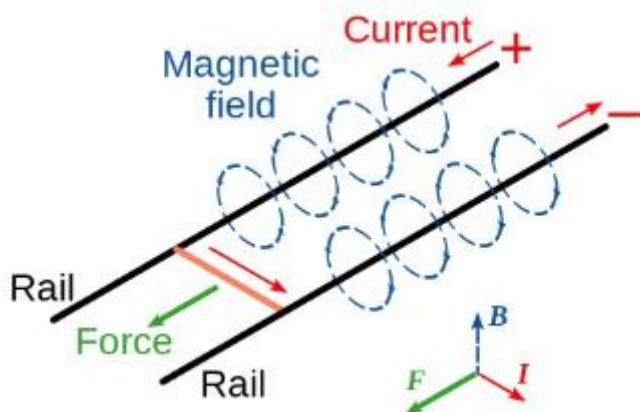


Fig. 2.32 – Fonament del motor d'inducció lineal utilitzats en els llançaments. Font: Kimerius Aircraft.

- Llançament hidràulic. Utilitzen un cotxe de captura connectat a un cable que s'uneix a un mecanisme connectat a la part inferior del tren. El motor hidràulic està situat en un dels extrems del tram de llançament i el tren en l'altre costat. El líquid hidràulic es bombeja en varis acumuladors hidràulics (dos comportaments separats per un pistó). A mesura que el líquid incompressible es bombeja en un comportament, un gas es va comprimint en l'altre. El nitrogen en el tanc de l'acumulador comença a sotmetre a alta pressió cada vegada que l'oli es bombeja al tanc. Una vegada el nitrogen es comprimit a una pressió alta, el bombeig para i el nitrogen entra dins del cilindre, provocant el llançament del vagó.



Fig. 2.33 – Formula Rossa, Ferrari World, Abu Dhabi. Font: Ferrari World Abu Dhabi.

- Llançament pneumàtic. Són molt similars als mecanismes hidràulics, però en aquest cas es comprimeix aire en comptes de nitrogen o oli. L'acceleració es constant però produeix sorolls causats per l'aire.



Fig. 2.34 – Dodonpa, en Fuji-Q Highland. Font: Thousand Wonders

## 2.6 PARTS PRINCIPALS DEL VAGÓ

El vagó correspon a l'element més important de la muntanya russa, ja que una bona comoditat i seguretat fa gaudir molt més als clients.

- **Configuració dels seients.** Un dels elements més rellevants del disseny d'una muntanya russa és el contacte que hi ha entre el vagó i la via, ja que depèn de com hi estigui dissenyada la via, el tren es comportarà d'una forma o d'una altra molt diferent. Normalment es comença dissenyant quin tipus de seient portarà, un mínim de radi permès en el disseny i una altura mínima en els creus entre el vehicle i la via.

- **Disseny de les rodes.** Hi ha tres tipus de rodes diferents que assegurin la seguretat del vagó sobre la via.

- Rodes de carga. Són les encarregades de transmetre la carga del vehicle a la via.

- Rodes guia. Estan ubicades perpendicularment a les rodes de carga i es poden situar a l'interior o exterior del rail segons el disseny. Són les encarregades de seguir el trajecte.

- Rodes de seguretat. Estan situades sota el rail per prevenir que el vagó es desenganxi de la via.



Fig. 2.35 – Sistema de rodes en un vagó. Font: Bloc, Tecnología de los parques de diversiones



Per dissenyar la roda perfecta s'ha de complir amb quatre característiques essencials.

- Baixa tensió al rodament
- Resistència a les altes cargues que suportarà
- Suavitat a l'hora de circular per trajecte
- Alta durabilitat

La resistència al rodament es causada per la deformació de la goma en el punt que toca la superfície per la que es desplaça. El coeficient de resistència augmentarà a mesura que la pressió va disminuint o sigui major la força infligida sobre la goma.

$$F_{rod} = R \cdot m \cdot g$$

on,  $R$  és el coeficient de resistència de rodament

$m$  és la massa

$g$  és la gravetat

En una muntanya russa, les pèrdues d'energia han de ser mínimes, així que les rodes han de estar fabricades per un material dur per arribar a tenir una baixa tensió al rodament.

La resistència a les altes cargues és essencial, ja que les rodes no només suporten el pes dels passatgers i dels vehicles, sinó que ha d'aguantar més o menys 6 vegades aquet pes, uns 30.000 N en cada roda. Això també es ve donat per l'elecció d'un material més dur.

Per obtenir una bona suavitat a l'hora de circular pel trajecte, es necessita que les rodes puguin absorbir les deficiències existents degut a la manufactura i les condicions de la via, ja que un disseny o elecció irregular pot arribar a ser incòmode o causar grans danys.

Un vagó convencional pot arribar a tenir fins a 108 rodes causant així un manteniment constant per canviar-les per desgast. Una roda pot arribar a una mitja de 4000 rpm durant el trajecte. Per aquesta raó es necessita que durin el màxim possible.

Generalment les rodes utilitzen dos tipus de material:

- El nylon. Plàstic molt resistent que posseeix bona propietats mecàniques, elèctriques i tèrmiques. Causa vibració a les rodes causant que l'atracció sigui més abrupta i ràpida.
- El poliuretà. És un material més suau. La vibració de les rodes es menor a la de nylon causant així un trajecte més tranquil i suau. Provoca una major fricció i alenteix la atracció ja que la resistència al rodament serà major.

• **Resistència aerodinàmica**. És una força que actua en un objecte en la direcció oposada al moviment de l'objecte a través de l'aire. Provoca que el vagó s'alenteixi. Quan l'arrossegament es igual al pes, l'acceleració és 0 i la velocitat es converteix en una constant.

Aquesta força està influenciada per l'àrea frontal i la forma del vehicle. Per conèixer la força d'arrossegament que exerceix l'aire contra el vagó s'utilitza la següent fórmula:

$$F_{arr} = \frac{1}{2} \cdot c_f \cdot A \cdot \rho_{aire} \cdot v_m^2$$

on,  $C_f$  és el coeficient d'arrossegament

$A$  és l'àrea perpendicular al flux d'aire

$\rho_{aire}$  és la densitat de l'aire

$v_m$  és la velocitat de l'aire

## 2.7 SUPORTS I FONAMENTS

Un dels components més passats per alt però a la vegada dels més importants són els fonaments. Aquests suporten el pes de la columna de suport, la via i els vehicles carregats i a l'hora a de resistir a terratrèmols, erosions de terra, tornados, inundacions i riscos meteorològics entre altres.



Fig. 2.36 – Construcció de Red Force, Port Aventura. Font: Restaurant hotel bar, La nueva montaña rusa más alta de Europa

Es té que definir les cargues màximes de disseny de cada fonament. Quan el vagó està baixant provoca forces de compressió en els fonaments ja que l'altura en que es troba i les forces gravitacionals actuen sobre la muntanya russa. En el cas que el vehicle passi per el cim de la colina proporcionant un *airtime*, el tren intenta separar-se de la via cap amunt, produint així un esforç de tracció. Si aquestes forces són grans, poden arribar a fracturar els fonaments.



Aquests fonaments estan fabricats de formigó armat. El formigó li atorga una alta resistència a la compressió però a l'hora, té una baixa resistència a la tracció, que es compensa afegint-li acer, que és un material molt resistent a la tracció.

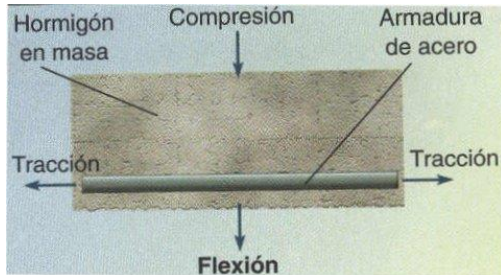


Fig. 2.37 – Forces que hi actuen en el formigó. Font: ¿qué es el hormigón armado?

### 3.DISSENY DEL VAGÓ

Per dur a terme el disseny del vagó, s'ha realitzat un seguit de croquis per comprovar i analitzar quina seria la millor opció de cara a la muntanya russa.

#### Opció 1:

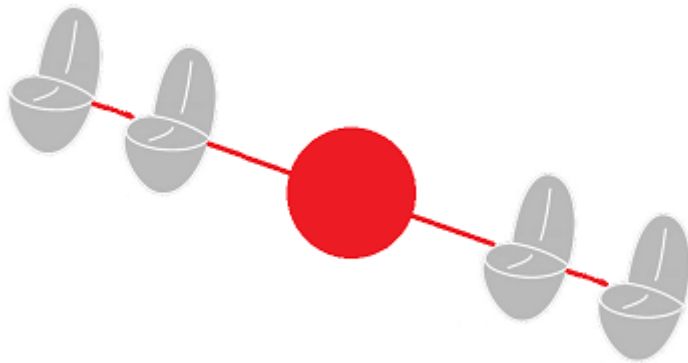


Fig. 3.1 – Croquis de l'opció 1. Font: Paint.

Aquest disseny de vagó correspon a un estil *Wingrider*, on els seients estan col·locats als costats del vagó i els peus van lliures, sense plataforma entre els peus i el vagó.

Aquest disseny permet arribar a grans velocitats i presenta un disseny cridaner a simple vista.

Per realitzar aquest croquis m'he basat en el tren de l'atracció de Port Aventura Furius Baco.



Fig. 3.2 – Furius Baco, Port Aventura. Font: Port Aventura World

Opció 2:

Fig. 3.3 – Croquis de l'opció 2. Font: Paint.

Aquest disseny correspon a un estil de viatge on el vago va girant 360° en l'eix horitzontal, provocant així que els passatgers hi vagin girant posant-se tant de cara com de espatlles a l'atracció.

La velocitat en aquest tipus de trajecte seria menor, ja que no es poden realitzar inversions ni girs bruscos. L'emoció i l'adrenalina augmenta en aquest tipus de muntanya russa per que no sempre vas de cara i no saps el moment de baixada ni de pujada.

Per realitzar aquest croquis m'he basat en el tren de l'atracció de Disneyland Resort Paris Crush's Coaster.



Fig. 3.4 – Crush's Coaster, Parc DisneyLand Paris. Font: Disneyland Paris.

### Opció 3:

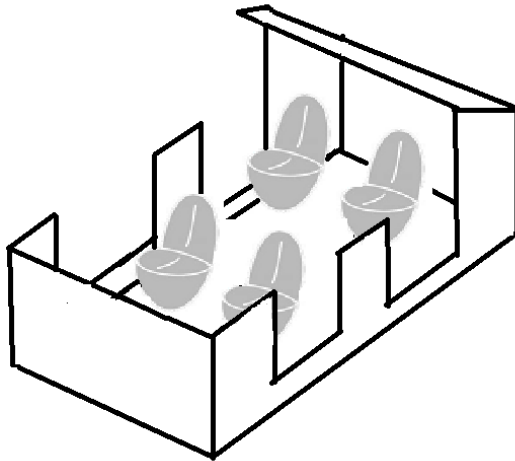


Fig. 3.5 – Croquis de l'opció 3. Font: Paint.

Aquest disseny correspon a un model més tradicional, present en la majoria de les muntanyes russes de tot el món. Presenta un viatge còmode i apte per a tot el públic.

La velocitat s'adapta molt be a la via, arribant a assolir velocitats rècords, es poden dur a terme inversions, girs, etc. Dependent de la forma final del vagó, la forma aerodinàmica va variant considerablement.

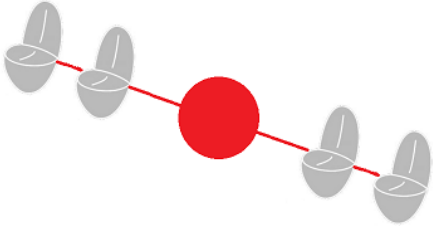

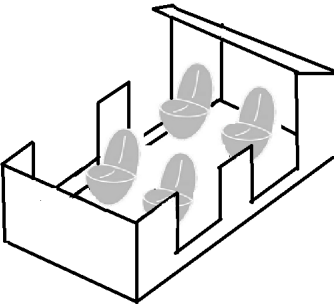
Per realitzar aquest croquis m'he basat en el tren de l'atracció de Cedar Point Millennium Force.



Fig. 3.6– Millennium Force, en Cedar Point. Font: Cedar Point.

### Elecció final:

En la següent taula compararem els tres models diferents, qualificant les característiques del 1 al 5 ( de menor a major).

Disseny del vagó	Forma Aerodinàmica	Material	Estètica	Fabricació	Velocitat	Total
	1	3	4	3	4	15
	2	2	4	3	2	13
	4	3	2	4	3	16

Taula. 3.1 – Comparació dels tres models. Font: Word

Analitzant les principals característiques ha hi ha d'haver aplicades en un vagó, s'ha decidit dissenyar la tercera opció.

El disseny final del tren gràcies el programa de disseny Solidworks, és el següent.

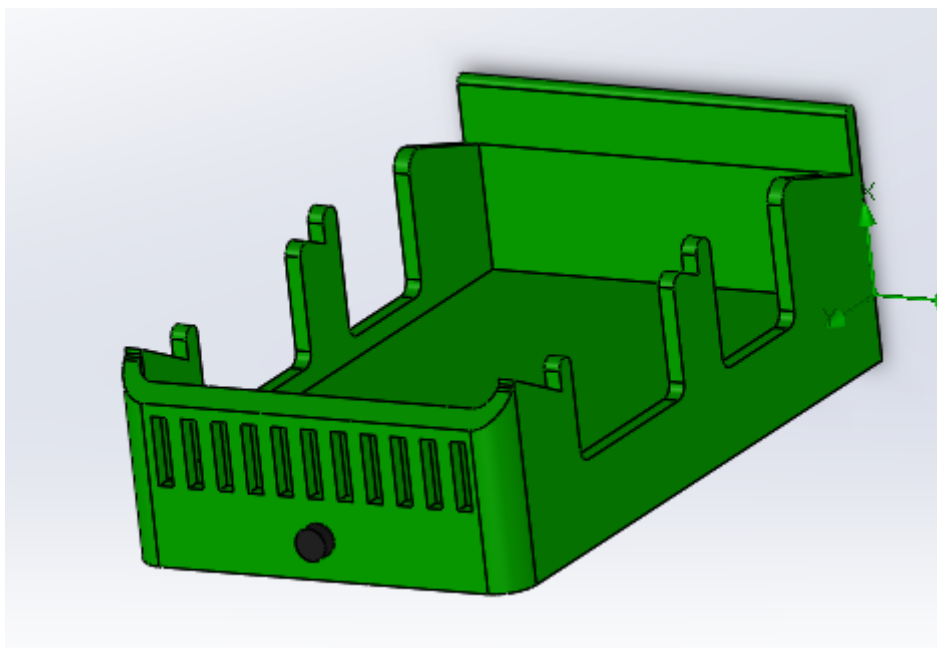


Fig. 3.7 – Disseny final del vagó. Font: SolidWorks.

Per desenvolupar el disseny dels seients és realitzarà un QFD, on hi podrem observar quines son les característiques més essencials i que satisfacin als passatgers.

Un QFD és un mètode de gestió de qualitat basat en transformar les demandes dels clients en qualitat de disseny, important funcions que aportin més qualitat, i implementar mètodes per aconseguir qualitat de disseny.

Requisits el client	Importància	Importància (%)	paràmetres de disseny			
			dimensió	cost	color	material/qualitat
Comoditat	4	16,67	○	○		○
Seguretat	5	20,83	◇	●		●
Disseny	3	12,5	◇	○	●	○
Fabricació	3	12,5	○	○		○
Durabilitat	4	16,67		○		●
Impermeable	5	20,83		○		●
<b>TOTAL</b>	<b>24</b>	<b>100</b>	<b>120,84</b>	<b>424,98</b>	<b>112,5</b>	<b>649,98</b>

Taula. 3.2 – QFD del vagó. Font: Excel.

on, ◇ = 1 (dèbil)

○ = 3 (mitjana)

● = 9 (forta)



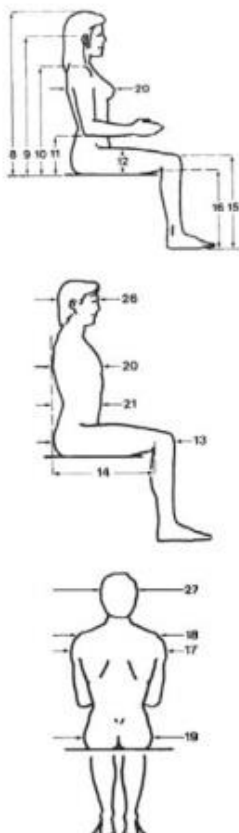
Observem que els paràmetres més importants en el disseny dels seients són el cost i l'elecció del material i la seva qualitat. Els requisits que presenten una importància forta en un paràmetre de disseny són:

La seguretat, on depenent del cost dels materials i de la fabricació la seguretat serà major o menor i el tipus de material a triar, ja que presentarà més qualitat i a l'hora més seguretat.

El disseny, on hi predomina la gama de colors que s'hi aplicarà, ja que és la principal font per presentar un bon disseny.

I la durabilitat i que sigui impermeable, molt semblants entre sí, depenen principalment de la qualitat del material, ja que a millor qualitat i una bona elecció del material en cas de fenòmens meteorològics, el seient resistirà més.

Amb l'elecció del tipus de vagó, els passatgers estaran asseguts, així que la postura dels usuaris segons la taula antropomètrica es la següent:



Dimension	Men				Women			
	5th %ile	50th %ile	95th %ile	SD	5th %ile	50th %ile	95th %ile	SD
1. Stature	1625	1740	1855	70	1505	1610	1710	62
2. Eye height	1515	1630	1745	69	1405	1505	1610	61
3. Shoulder height	1315	1425	1535	66	1215	1310	1405	58
4. Elbow height	1005	1090	1180	52	930	1005	1085	46
5. Hip height	840	920	1000	50	740	810	885	43
6. Knuckle height	690	755	825	41	660	720	780	36
7. Fingertip height	590	655	720	38	560	625	685	38
8. Sitting height	850	910	965	36	795	850	910	35
9. Sitting eye height	735	790	845	35	685	740	795	33
10. Sitting shoulder height	540	595	645	32	505	555	610	31
11. Sitting elbow height	195	245	295	31	185	235	280	29
12. Thigh thickness	135	160	185	15	125	155	180	17
13. Buttock-knee length	540	595	645	31	520	570	620	30
14. Buttock-popliteal length	440	495	550	32	435	480	530	30
15. Knee height	490	545	595	32	455	500	540	27
16. Popliteal height	395	440	490	29	355	400	445	27
17. Shoulder breadth (bideloid)	420	465	510	28	355	395	435	24
18. Shoulder breadth (biacromial)	365	400	430	20	325	355	385	18
19. Hip breadth	310	360	405	29	310	370	435	38
20. Chest (bust) depth	215	250	285	22	210	250	295	27
21. Abdominal depth	220	270	325	32	205	255	305	30
22. Shoulder-elbow length	330	365	395	20	300	330	360	17
23. Elbow-fingertip length	440	475	510	21	400	430	460	19
24. Upper limb length	720	780	840	36	655	705	760	32
25. Shoulder-grip length	610	665	715	32	555	600	650	29
26. Head length	180	195	205	8	165	180	190	7
27. Head breadth	145	155	165	6	135	145	150	6
28. Hand length	175	190	205	10	160	175	190	9
29. Hand breadth	80	85	95	5	70	75	85	4
30. Foot length	240	265	285	14	215	235	255	12
31. Foot breadth	85	95	110	6	80	90	100	6
32. Span	1655	1790	1925	83	1490	1605	1725	71
33. Elbow span	865	945	1020	47	780	850	920	43
34. Vertical grip reach (standing)	1925	2060	2190	80	1790	1905	2020	71
35. Vertical grip reach (sitting)	1145	1245	1340	60	1060	1150	1235	53
36. Forward grip reach	720	780	835	34	650	705	755	31
Body weight	55	75	94	12	44	63	81	11

Taula. 3.3 – Taula antropomètrica, Les mesures de les tables estan en mm i el body weight en kg. Font: Anthropometric Reference Data for Children and Adults: United States, 2007–2010.

- Altura del seient. L'altura ve donada per el punt 16 de la taula, l'alçada *popliteal*, que és la distància vertical que hi ha entre el terra i la zona posterior del genoll. L'alçada del seient no pot superar els valors de la taula, ja que si no els passatgers començaran a sentir una major pressió en la part inferior de les cuixes.
- Profunditat del seient. La profunditat ve donada per el punt 14 de la taula que és la longitud que hi ha entre el genoll i la pelvis. Quan més profund sigui el seient, els problemes seran majors, ja que costarà més aixecar-se i seure. Normalment un seient de 300 mm subjecta bé la pelvis i són els més utilitzats.
- Amplada del seient. L'amplada ve donada pel punt 19, l'amplada del maluc. Normalment aquest valor va rondant els 500-550 mm.
- Dimensió del suport. En una muntanya russa la espatlla del passatger ha d'estar en tot moment en contacte amb la superfície de suport. Generalment es preferible que el suport tingui forma de columna vertebral per una millor subjecció. El valor més utilitzat a l'hora de la dimensió dels suports són els 900 mm.

Seguint aquests quatre principis bàsics, el disseny del seient serà el següent:

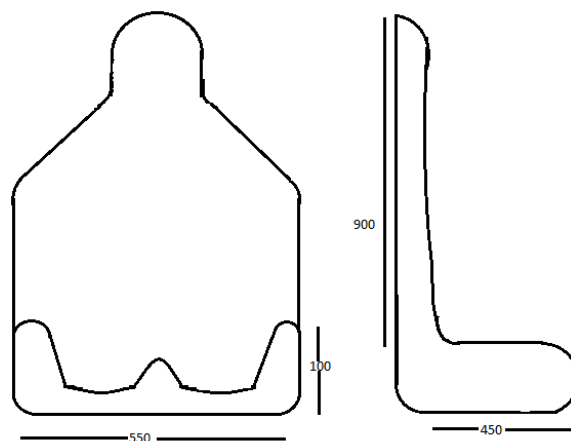
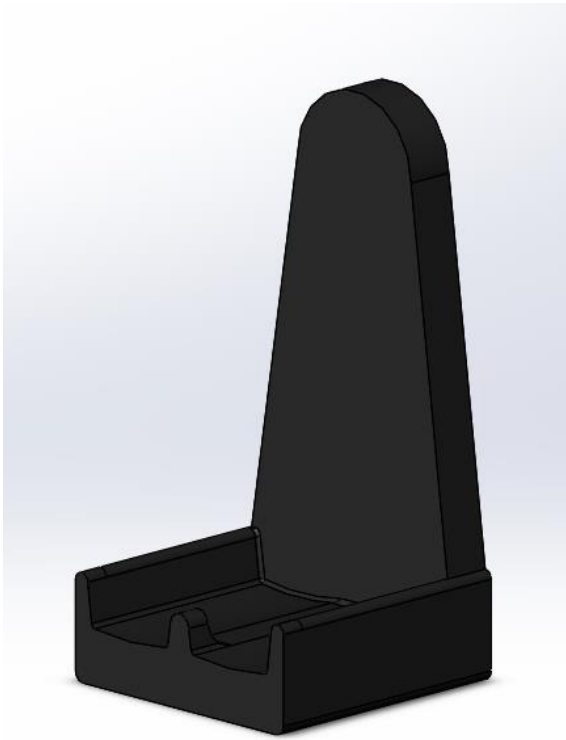


Fig. 3.8 – Croquis del seient. Font: Paint

A partir d'aquets disseny s'ha realitzat el següent seient amb el Solidworks.



*Fig. 3.9 – Disseny final del seient. Font: SolidWorks*

## 4.DISSENY DE LA VIA

Per fer el disseny conceptual de la via s'intenta buscar una morfologia atractiva i que proporcioni una bona emoció i experiència als passatgers.

Per aquets apartat realitzarem un mètode similar al disseny del vagó, on analitzant diverses opcions es triarà la millor opció.

Els elements més utilitzats en les muntanyes russes són els següents:

- Estació. És una secció de la pista on els passatgers entren i surten dels trens. Utilitzen frens per sostenir el vagó i rodes de fricció per impulsar-lo fins endavant.
- Colina ascensora.
- Llançament.
- Airtime. També coneguda com la força g negativa. És la força que fa que el passatger floti per un temps determinat fora del seient. Hi pot haver de dos tipus, de flotador o de expulsor. El flotador sol ser una força g amb nivells inferiors de 1 a 0 g. L'expulsor és una força g negativa que es mesura en una quantitat inferior a 0 g.
- Vertical Loop. Un bucle vertical és un element de la muntanya russa en el qual la pista fa una forma de 360° verticalment, a diferència d'un bucle horitzontal que és bàsicament una hèlix.



Fig. 4.1 – Loop en Shock Wave, Six Flags Texas.

Font: Coasterpedia.

- Dive Loop. És una inversió de la muntanya russa, i representa el revers d'un Immelmann (la inversió comença amb la primera meitat d'un tram vertical. A mesura que s'apropa a la part superior del bucle, el tren es posa en posició totalment invertida. El tren continua desviant-se a l'altre part de la meitat del tram, ja que es torna cap a la dreta, de manera que la inversió surt a la direcció contrària a la qual s'introdueix). Pren la primera meitat d'un corkscrew i la segona meitat d'un vertical loop.



Fig. 4.2 – Dive Loop en Chang, Kentucky Kingdom. Font: Coaster Force.

- Inclined Loop. Un bucle inclinat és un bucle vertical que s'inclina en un angle normalment entre 45 i 80 graus. L'element es troba essencialment entre una hèlix (bucle horitzontal) i un bucle vertical.



Fig. 4.3 – Inclined Loop en Chang, Kentucky Kingdom. Font: Coasterpedia.



- Top hat. És un element comú en els llançaments. Consisteix en un ascens en un angle de 90 graus, amb un gir lateral de 90 graus. A continuació, s'anivella i descendeix de la mateixa manera. El tren surt de l'element en la mateixa direcció que va entrar.



Fig. 4.4 – Top Hat en Kingda Ka, Six Flags Great Adventure. Font: Coasterpedia.

- Pretzel top. És una inversió doble. Es tracta bàsicament d'un bucle vertical que comença a elevar-se i es submergeix cap avall. Els punts d'entrada i sortida creuen el solapament, formant una forma semblant a un pretzel.



Fig. 4.5 – Pretzel loop en Superman Ultimate Flight, Six Flags. Font: Coaster Force.



- Corkscrew. És una inversió que s'assembla a un bucle vertical que s'ha estirat perquè els punts d'entrada i sortida estiguin a una distància entre elles. Els passatgers s'inverteixen en un punt a un angle de  $90^\circ$  horitzontalment des de la pista.



Fig. 4.6 – Corkscrew en Cedar Point. Font: Coasterpedia.

- Cobra roll. És una inversió doble que s'assembla al cap d'una cobra. Els clients viatgen a través d'un semicicle a un corkscrew perpendicular a la primera direcció, s'introdueix a un altre corkscrew que es fusiona en un bucle vertical.



Fig. 4.7 – Cobra Roll en Dragon Khan, Port Aventura. Font: Port Aventura World.

### Opció 1:

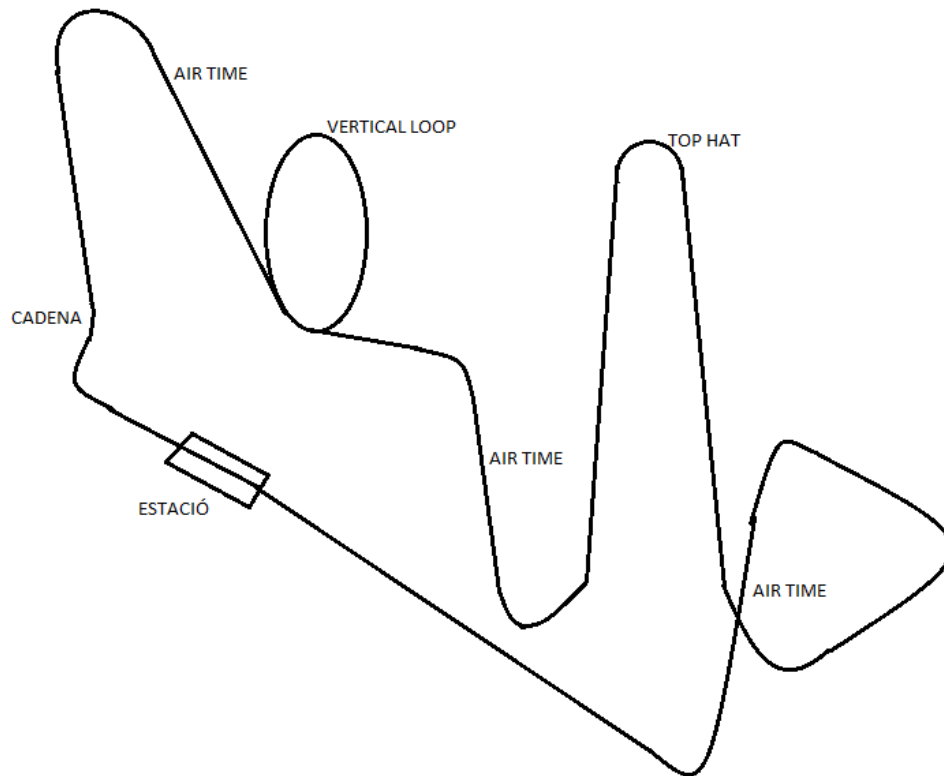


Fig. 4.8 – Croquis de l'opció 1. Font: Paint.

En aquest disseny, el vagó surt de l'estació i gràcies a la cadena ascensora assoleix el cim, on en la baixada hi apareix el fenomen air time. Al finalitzar la baixada s'incorpora en el vertical loop i tot seguit un altre air time. Es presenta un top hat on hi apareixerà la baixada més pronunciada de tot el trajecte. Després de realitzar una corba oberta, el tren tornarà a l'estació finalitzant així el viatge.

## Opció 2:

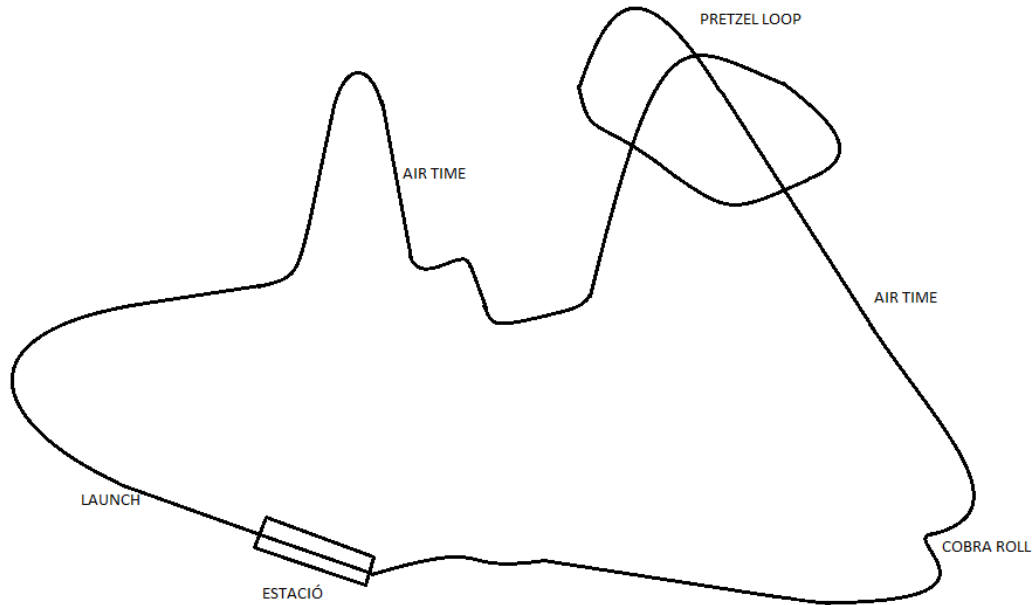


Fig. 4.9 – Croquis de l'opció 2. Font: Paint.

En aquest disseny el tren surt a la pista gràcies a un sistema de llançament que li permet assolir una velocitat adequada per superar la primera pujada del trajecte, on hi apareix l'air time en la baixada següent. En la següent pujada aprofita la inèrcia per completar un pretzel loop i seguidament el passatger sentiria un altre air time. Per finalitzar el trajecte, el tren s'incorporarà a una cobra roll.

### Opció 3:

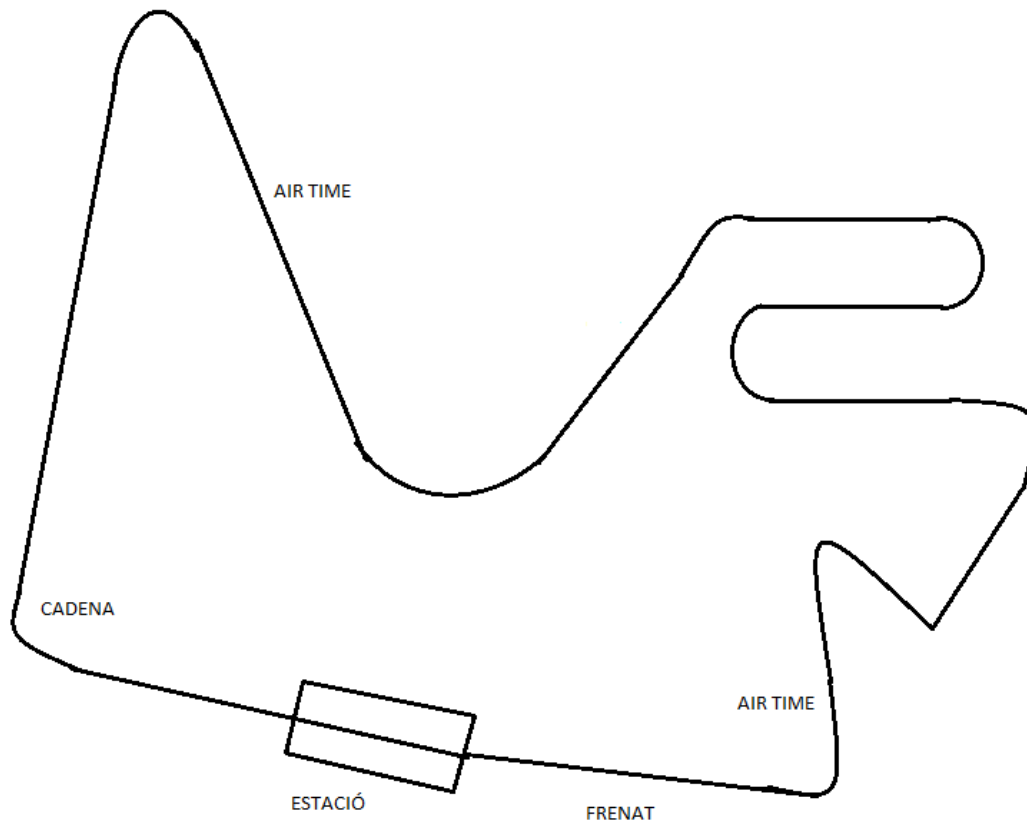
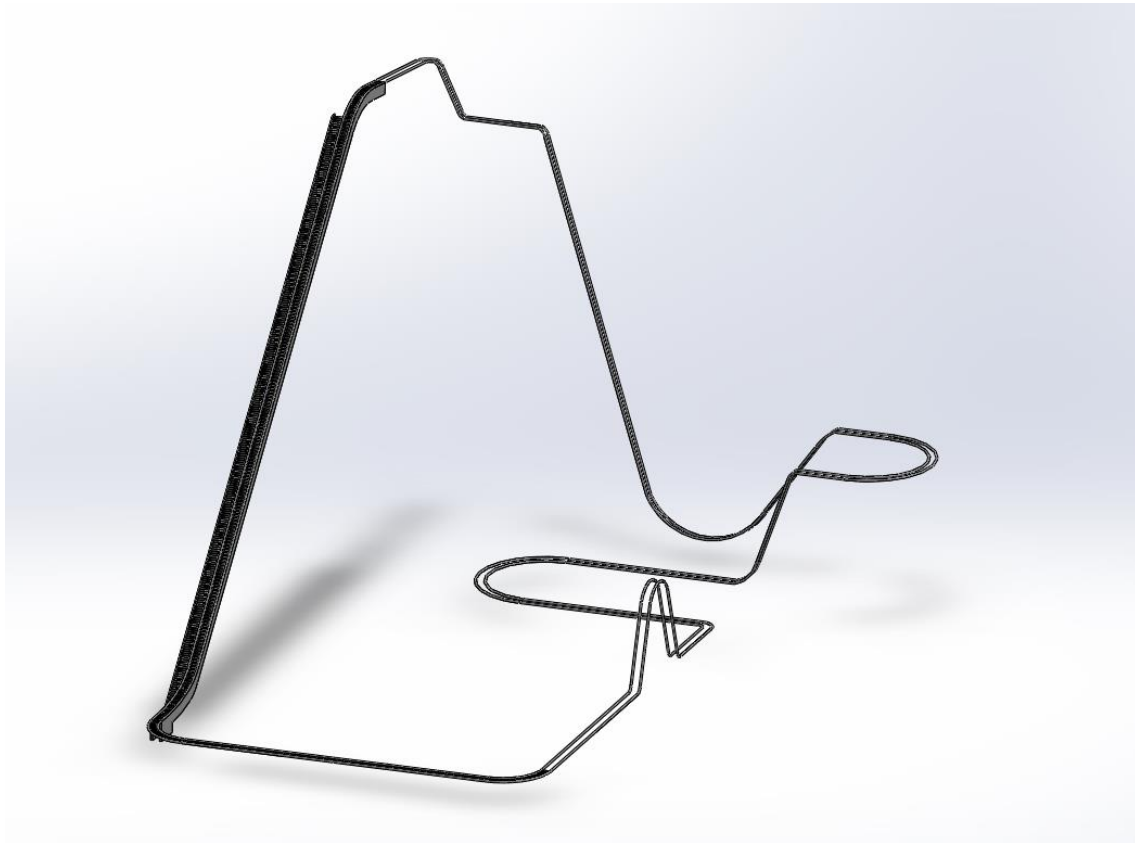


Fig. 4.10 – Croquis de l'opció 3. Font: Paint.

Aquest disseny correspon a un disseny més tradicional on hi pot predominar la velocitat i grans altures. El vagó surt de l'estació i gràcies a la cadena ascensora assoleix el punt més alt de tots tres dissenys. En la baixada més forta de l'atracció el passatger sofreix un air time. En la següent pujada es disposa d'un possible llançament o de frenat segons la velocitat que hi assoleix el vagó en aquest punt. S'incorpora a un seguit de corbes tancades, i al sortir realitza l'última pujada de l'atracció. En l'última recta hi haurà un sistema de frenat per arribar a l'estació de forma segura.

Analitzant els tres dissenys, s'ha decidit realitzar la tercera opció, ja que les muntanyes russes amb inversions no em criden l'atenció tant com una tradicional on hi pot predominar la velocitat i grans baixades picades.

Amb el programa Solidworks s'ha realitzat el següent disseny:



*Fig. 4.11 – Disseny final de la muntanya russa. Font: SolidWorks.*

## 5.DISSENY FORMAL

Per començar a realitzar el disseny formal d'aquest concepte, és molt important conèixer quines són les forces i els fenòmens que hi actuen en l'atracció.

- Força g. Correspon a una mesura intuïtiva d'acceleració. La força G, abreviatura de la força gravitatòria, és una força que tira o empeny als passatgers. En una muntanya russa es produeix quan el vehicle té una velocitat sobre una corba (vertical o horitzontal). Quan el tren arriba al cim, els passatgers solen experimentar forces g positives. Quan el tren baixa del cim, els passatgers experimenten forces g negatives, també conegudes com l'air time.

L'objectiu de dissenyar una muntanya russa és produir el màxim numero d'acceleracions segures per el client.

- Conservació de l'energia. El funcionament de les muntanyes russes gira al voltant de l'energia cinètica per sobre de l'energia potencial. Emmagatzemen l'energia mecànica per operar. Inicialment s'arrossega el vagó, que no té tracció pròpia, fins a la part més elevada. Això produeix un augment de l'energia potencial gravitatòria del vagó. Al deixar-lo en llibertat, el vagó descendeix augmentant progressivament la seva velocitat. En termes energètics, la seva energia potencial gravitatòria es va transformant en energia cinètica, l'energia associada al moviment dels cossos, excepte una petita part que es transforma en calor a causa del fregament que exerceixen l'aire i les vies. En els trams ascendents, succeeix el contrari la velocitat disminueix a mesura que el vagó guanya alçada augmentant per tant l'energia potencial gravitatòria a costa de l'energia cinètica. Una petita part d'aquesta energia cinètica de nou es transforma en calor a causa del fregament.



- Velocitat, acceleració i força. Lla força que el vagó exerceix sobre els passatgers és un dels temes a tenir més en compte. Aquesta força no és constant sinó que està relacionada segons com va canviant la velocitat del vagó, i per tant dels passatgers, al llarg del recorregut. És l'augment o disminució d'aquesta força, en relació amb la que s'experimenta en repòs o amb velocitat constant, el que fa que muntar-se en una muntanya russa sigui atractiu per a molta gent. Aquest canvi de velocitat amb el temps, que pot ser en la seva magnitud o en la seva direcció, és el que s'anomena acceleració.

En els tram horitzontals, sense tenir en compte el fregament, la velocitat no canvia per tant no hi existeix acceleració. La força neta que actua sobre la persona és zero. La força que fa el vagó cap amunt sobre la persona és igual al pes de la persona.

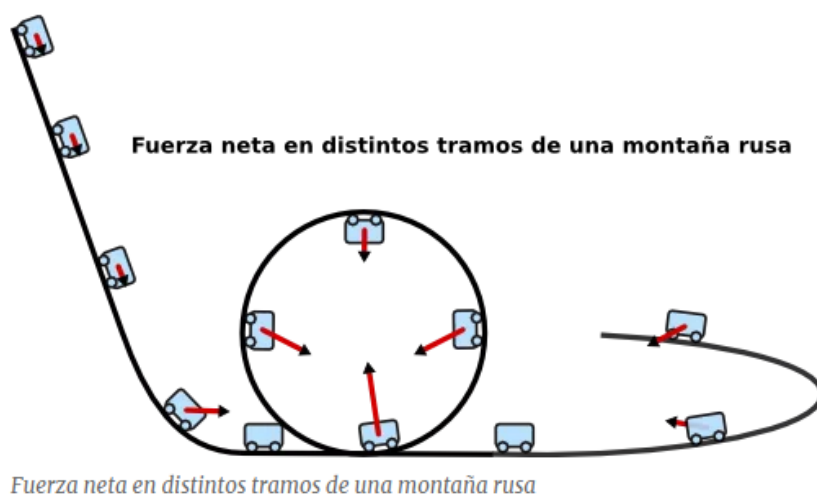


Fig. 5.1 – Força neta en diferents trams d'una muntanya russa. Font: Divulgadores, física y montañas rusas.

- Força de fricció i d'arrossegament. La força de fricció es genera en el moment en què el vagó es mou i es presenta en direcció oposada a aquest moviment. Poden ser les rodes sobre la pista, l'aire que bufa contra els carros i altres exemples. Tots funcionen contra el moviment frontal de la muntanya russa. Quan els carros pugen una pujada, han de lluitar contra la fricció i la gravetat per arribar fins al cim, és per això que ho fan més lent. Un cop aquí, la fricció es supera, l'energia potencial es converteix en cinètica i la velocitat augmenta fins a arribar a la part inferior de la baixada.

## 5.1 DISSENY DE LA VIA

La inclinació transversal màxima dels rails on el vagó realitzarà una parada completa ha d'estar limitat a un valor màxim de  $25^\circ$ . En la següent imatge observem quin és el balanç d'energies que hi ha entre dos punts:

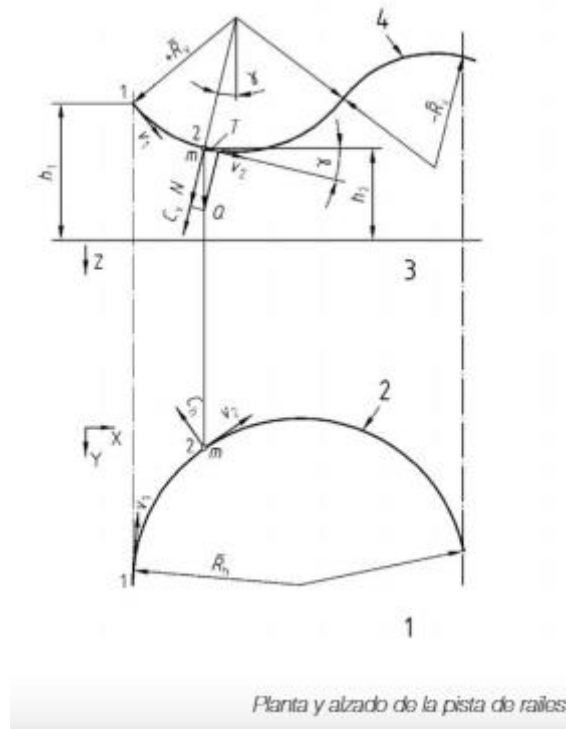


Fig. 5.2 – Croquis de la planta i alçat de la pista de rails. Font: Montañas rusas y la conservación de la energía.

$$Ec_f + Ep_f = Ec_o + Ep_o - F_{arr} \cdot l - F_{carga} \cdot l - F_{guia} \cdot l$$

$$\frac{1}{2}m \cdot v_2^2 + m \cdot g \cdot h_2 = \frac{1}{2}m \cdot v_1^2 + m \cdot g \cdot h_1 - F_{arr} \cdot l - F_{carga} \cdot l - F_{guia} \cdot l$$

on,  $v_1$  és la velocitat en el punt 1

$v_2$  és la velocitat en el punt 2

$h_1$  és l'altura en el punt 1

$h_2$  és l'altura en el punt 2

$m$  és la massa del vagó

$g$  és la gravetat

$F_{arr}$  és la força d'arrossegament

$F_{carga}$  és la força de fricció de los rodes de carga

$F_{guia}$  és la força de fricció de los rodes guia

$l$  és la longitud entre el punt 1 i 2

Per trobar la velocitat corresponent a cada punt del trajecte hem de resoldre les incògnites següents:

- Altures de certs punts del trajecte
- Massa del vagó
- Força d'arrossegament
- Coeficients de fricció entre les rodes i la via

Per començar es crea una via preliminar de la muntanya russa. Es dibuixa en planta un croquis de la línia central del recorregut per entendre el layout de l'atracció. S'estudiarà la trajectòria de la línia central i el perfil necessaris per a que els clients gaudeixin del recorregut.

- Centerline. Es tracta d'un dibuix o un croquis de la via sobre el terreny. Es necessitarà un terreny de 72x55 mm.

Fig. 5.3 – Vista superior de la muntanya russa.  
Font: Solidworks



- Divisió de la via. Per dur a terme l'equació de la velocitat hem d'obtenir la diferència d'altura entre dos punts, la inclinació, el radi vertical i l'horitzontal. Cada 5 metres s'analitza tots aquests conceptes en cada punt.

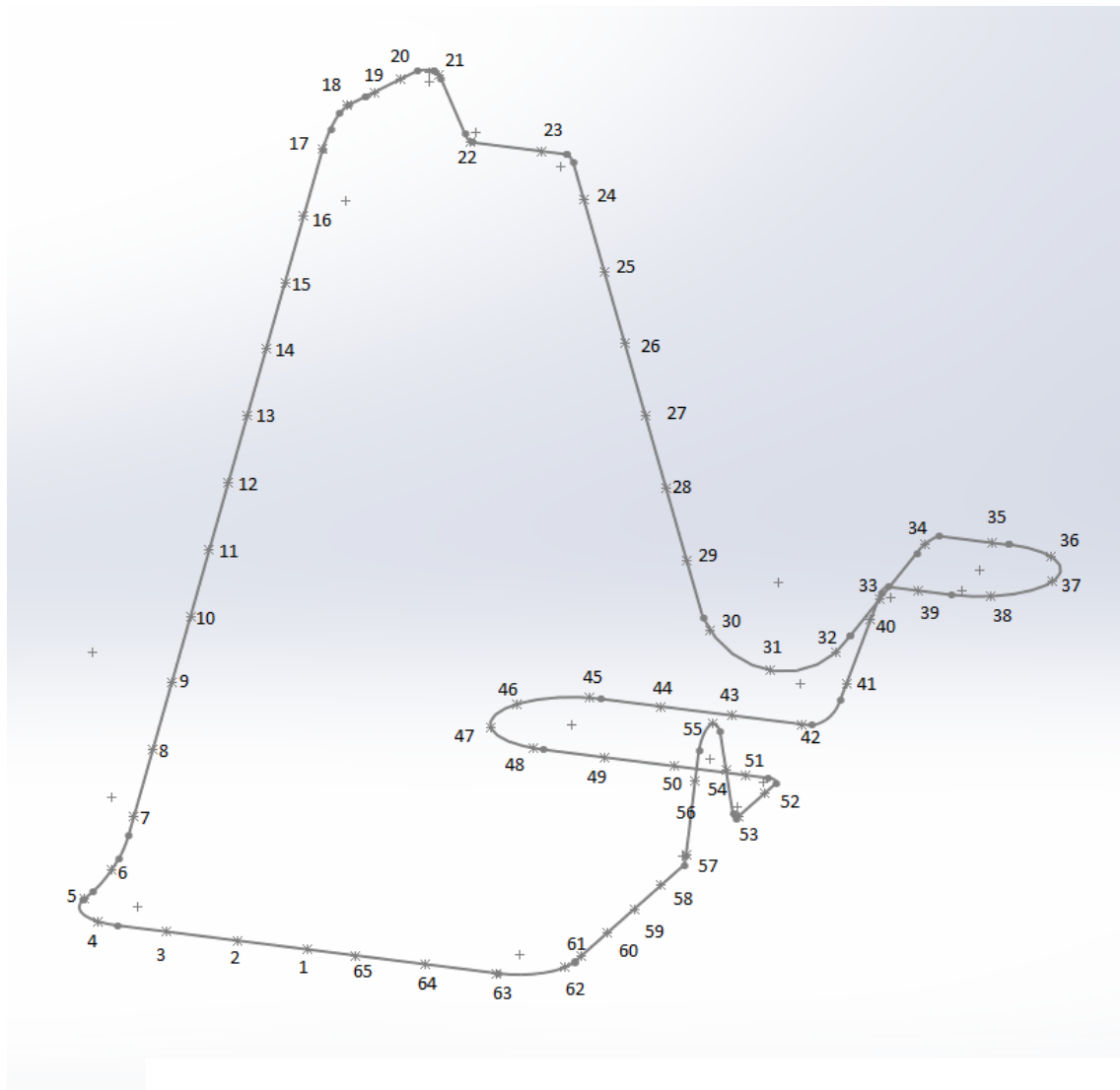


Fig. 5.4 – Croquis de la muntanya russa amb les diferents divisions. Font: Solidworks

- Radis horitzontals.

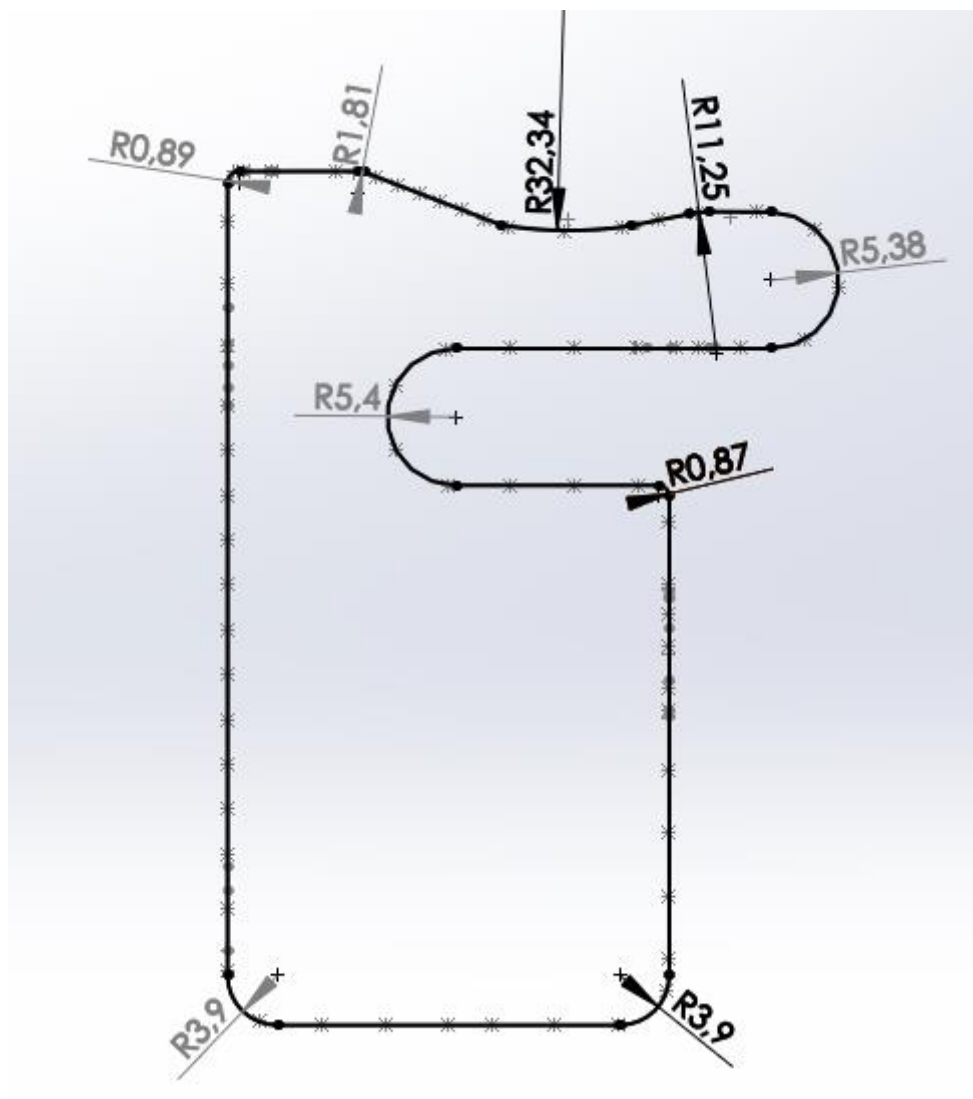


Fig. 5.5 – Croquis de la muntanya russa amb les cotes dels radis horitzontals de tot el recorregut. Font:Solidworks

- Radis verticals.

• Pujada 1 (6-19):

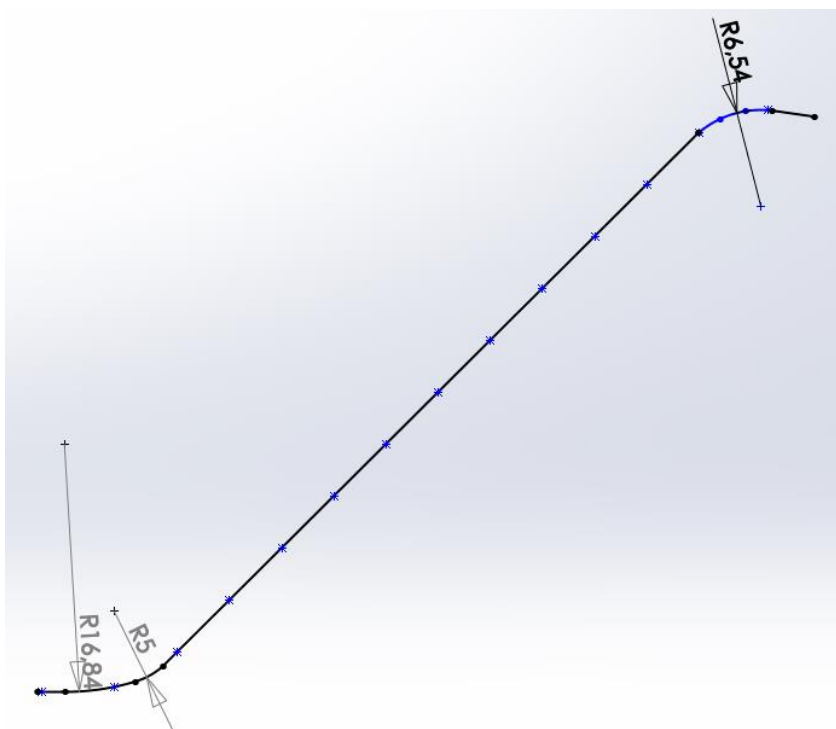


Fig. 5.6 – Croquis del tram 6-19 amb els diferents radis verticals. Font:Solidworks

• Baixada 1 (21-22):

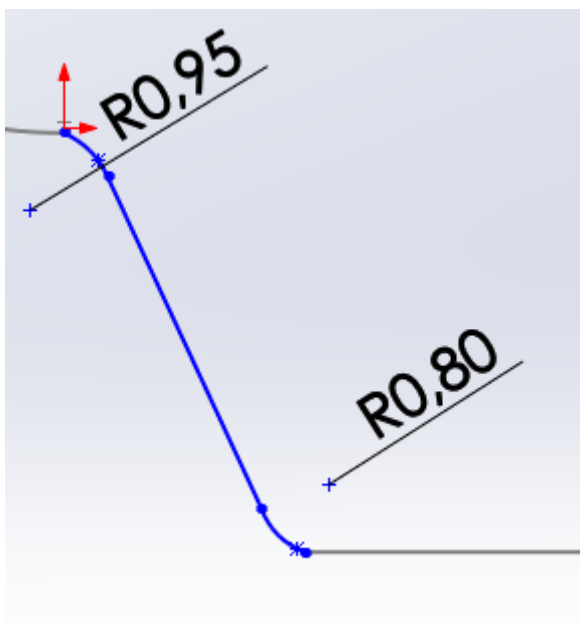


Fig. 5.7 – Croquis del tram 21-22 amb els diferents radis verticals. Font:Solidworks



- Baixada 2 (23-32):

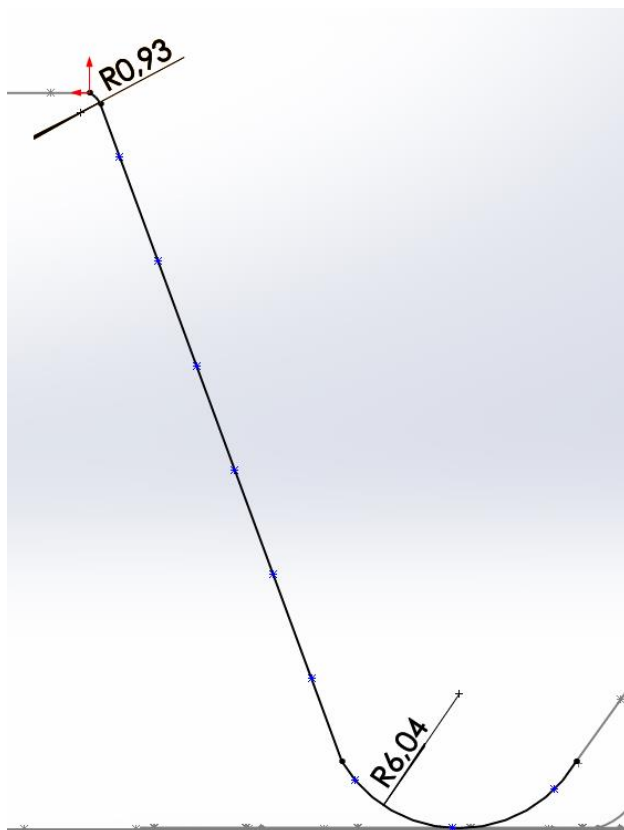


Fig. 5.8 – Croquis del tram 23-32 amb els diferents radis verticals. Font: Solidworks

- Pujada 2 (32-34):

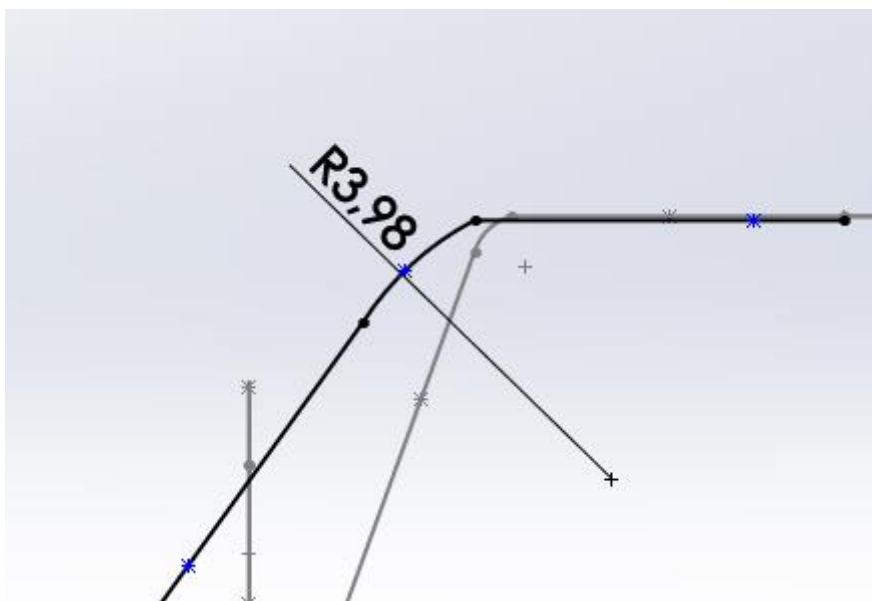


Fig. 5.9 – Croquis del tram 32-34 amb els diferents radis verticals. Font: Solidworks

- Baixada 3 (39-42):

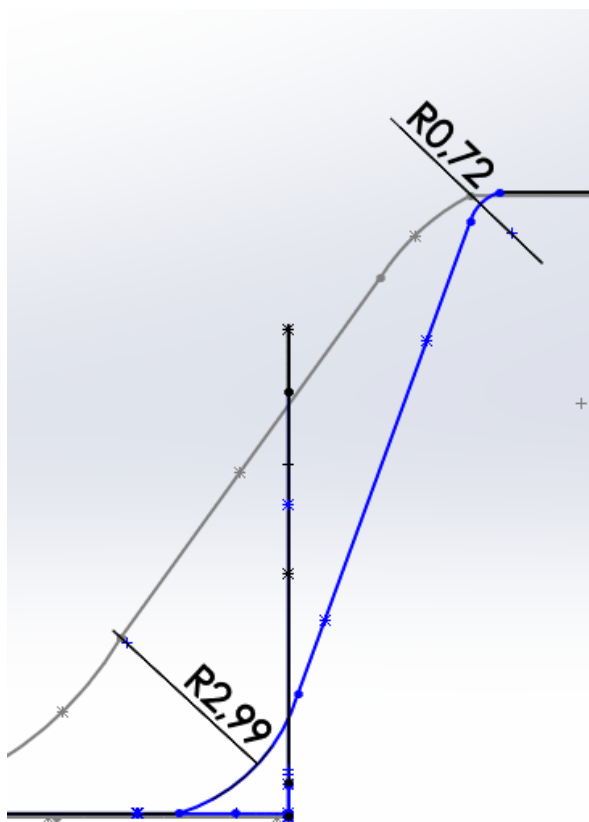


Fig. 5.10 – Croquis del tram 39-42 amb els diferents radis verticals. Font:Solidworks

- Cim (52-58):

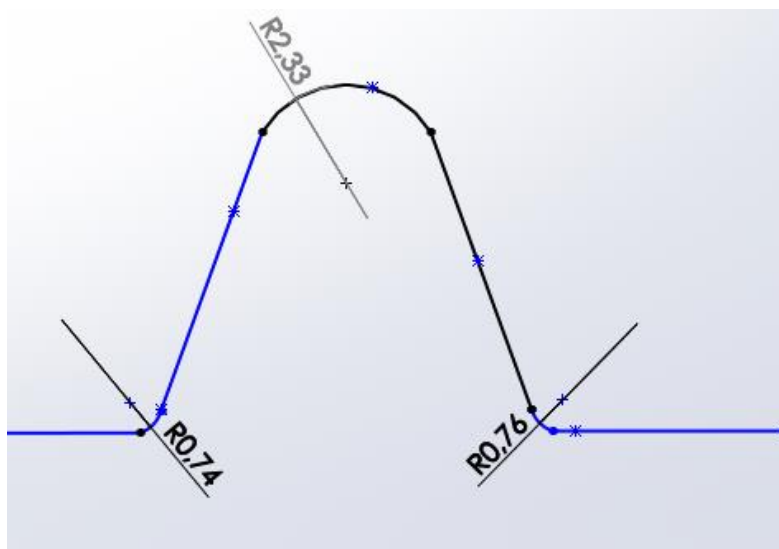


Fig. 5.11 – Croquis del tram 52-58 amb els diferents radis verticals. Font:Solidworks

## 5.2 MASSA DEL VAGÓ

Per poder fer el dimensionat de los rodes del vagó i els seus càlculs corresponents es necessita conèixer el pes aproximat del vehicle.

### - Estructura del vagó. FIBRA DE VIDRE

La fibra de vidre és un material compost de filaments molt fins de vidre aglomerats amb resines que, en entrellaçar, donen lloc a una estructura forta perfecta per ser emprada com a reforç estructural d'altres materials.

Les seves principals característiques són:

- Resistència química. La resina és un component de la fibra de vidre que la fa resistent a l'erosió química i del medi ambient. Per tant, la fibra de vidre no es podreix ni es deteriora, ja que és resistent a la majoria dels àcids.
- Pes lleuger. El pes específic de materials compostos per fibra de vidre permet que sigui molt fàcil de moure i instal·lar. A més, redueixen el pes suportat per les estructures de suport.
- Baix manteniment. Gràcies a les característiques intrínseques de la fibra de vidre, els compostos no necessita cap manteniment especial, fins i tot després de molts anys d'ús en aplicacions externes. Aquesta característica, condueix automàticament a estalvis de costos en el temps.
- Aïllament elèctric. La fibra de vidre no condueix l'electricitat, de manera que és ideal per a aplicacions on es busqui l'aïllament elèctric de certes instal·lacions.
- Versatilitat. Es tracta d'un producte molt versàtil: àmplia gamma de filaments, mides, tipus de fibra, etc. Aquestes característiques fan que la fibra de vidre ofereixi un gran ventall de possibilitats industrials.
- Excel·lent aïllant tèrmic. La fibra de vidre té un baix coeficient d'expansió tèrmica i conductivitat tèrmica relativament alta. Això fa que dissipï la calor de forma més ràpida i sigui perfecte per a utilitzar-lo com a aïllant tèrmic. Per tant, és ideal per a instal·lacions a l'exterior, ja que no haurem de preocupar-nos que es deteriori per estar exposat al sol durant molt de temps.

- Econòmic. La fibra de vidre és un material amb un gran avantatge econòmic respecte a altres teixits de fibres sintètiques i naturals.

#### - Seients. POLIURETÀ

El seient estarà folrat per una tela de poliuretà i per dins escuma del mateix material.

La tela de poliuretà, o tela PUL, és impermeable. Poden ser de cotó o d'un material de barreja polímera que hagi estat laminada en calent a una capa de poliuretà. És lleuger i extremadament durable. Les teles de poliuretà són lleugeres i respirables. És flexible i fàcil de treballar. Les teles de poliuretà es poden fabricar en diferents espessors, depenent del seu ús. Es fabriquen amb diverses característiques. En situacions en què és probable el contacte de combustible, pot fabricar ignífuga. A més, es pot fabricar hermètica perquè aguanti l'aigua i la humitat i resistent a l'abració.

L'escuma de poliuretà és un material plàstic porós format per una agregació de bombolles. És forma bàsicament per la reacció química de dos compostos, un polioli i un isocianat, encara que la formulació necessita i admet múltiples variants i additius. Aquesta reacció allibera diòxid de Carboni, gas que va formant les bombolles.

És un material molt versàtil ja que, segons els additius i els sistemes de fabricació utilitzats, es poden aconseguir característiques molt diferents i escumes destinades a usos molt diferents.

Estructura final del vagó.

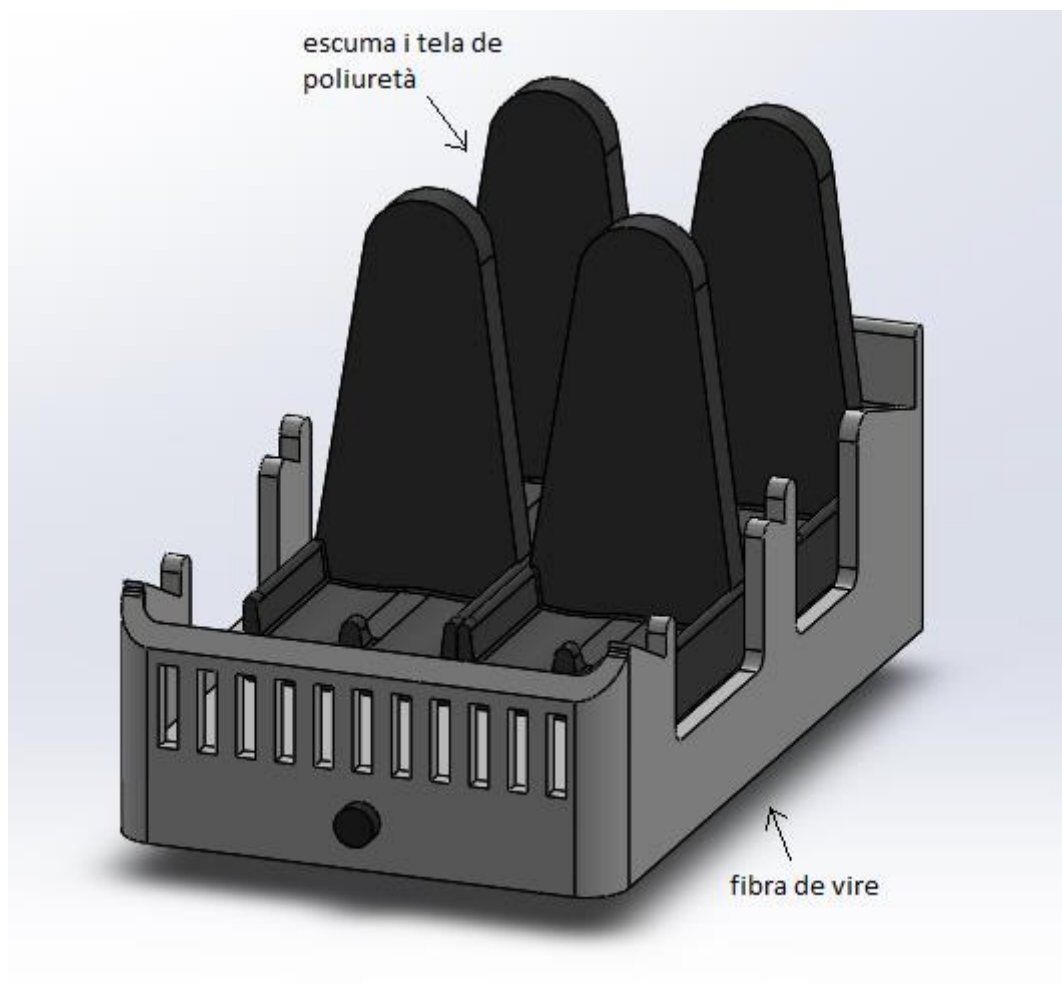


Fig. 5.12 – Assemblatge final del vagó amb els seus materials corresponents. Font: Solidworks

Les propietats físiques són les següents, obtingudes del SOLIDWORKS:

- Massa = 2216734.16 grams
- Volum = 1055979878.80 mil·límetres cúbics
- Àrea de superfície = 19602929.93 mil·límetres quadrats
- Centre de massa: (mil·límetres)
  - X = 7.94
  - Y = 76.88
  - Z = -53.10

- Eixos principals de inèrcia y moments principals de inèrcia: ( grams \* mil·límetres quadrats )

Mesurat des del centre de massa.

$$\begin{aligned} I_x &= ( 0.00, -0.12, 0.99) & P_x &= 417480654077.36 \\ I_y &= ( 1.00, 0.00, 0.00) & P_y &= 967619981330.00 \\ I_z &= ( 0.00, 0.99, 0.12) & P_z &= 1152777993552.74 \end{aligned}$$

- Moments de inèrcia: ( grams \* mil·límetres quadrats )

Obtinguts en el centre de massa y alineats amb el sistema de coordenades de resultats.

$$\begin{aligned} L_{xx} &= 967622428379.5 & L_{xy} &= 837205451.25 \\ L_{xz} &= -536527605.77 & L_{yx} &= 837205451.25 \\ L_{yy} &= 1142193110516.84 & L_{yz} &= -87571042524.22 \\ L_{zx} &= -536527605.77 & L_{zy} &= -87571042524.22 \\ L_{zz} &= 428063090063.70 \end{aligned}$$

- Moments de inèrcia: ( grams \* mil·límetres quadrats )

Mesurat des del sistema de coordenades de sortida.

$$\begin{aligned} I_{xx} &= 986975690656.59 & I_{xy} &= 2189966884.06 \\ I_{xz} &= -1470921828.50 & I_{yx} &= 2189966884.06 \\ I_{yy} &= 1148583922574.62 & I_{yz} &= -96621082288.47 \\ I_{zx} &= -1470921828.50 & I_{zy} &= -96621082288.47 \\ I_{zz} &= 441304878827.42 \end{aligned}$$



## 5.3 AERODINÀMICA DEL VAGÓ

Per conèixer la força de arrossegament que exerceix l'aire sobre el vagó necessitem:

$$F_{arr} = \frac{1}{2} \cdot c_f \cdot A \cdot \rho_{aire} \cdot v_m^2$$

on,  $C_f$  és el coeficient d'arrossegament

$A$  és l'àrea perpendicular al flux d'aire

$\rho_{aire}$  és la densitat de l'aire

$v_m$  és la velocitat de l'aire

A partir del complement del Solidworks, SolidWorks Flow Simulation, s'elaborarà les dades necessàries per trobar la força d'arrossegament.

Les dades que necessitarà el software són la velocitat del vehicle i les condicions atmosfèriques.

- Condicions atmosfèriques:

Com a dades constants,

$$g = 9.81 \frac{m}{s^2} \quad R_{aire} = 286,9 \frac{m^2}{s^2 \cdot K}$$

$$\lambda = -6,5 \cdot 10^{-3} \frac{K}{m} \quad T_o = 288,15 K$$

$$P_o = 101325 Pa \quad \rho_o = 1,225 \frac{kg}{m^3}$$

Per calcular les condicions atmosfèriques de Manresa, ja que la muntanya russa estarà situada aquí, partim de l'altura de 238 m sobre la cota de mar.

$$\bullet T(h) = T_o + \lambda \cdot h \rightarrow T(238) = 288,15 - 6,5 \cdot 10^{-3} \cdot 238 = \mathbf{286,603 K}$$

$$\bullet P(h) = P_o \cdot \left( \frac{T_o + \lambda \cdot h}{T_o} \right)^{-\frac{g}{R \cdot \lambda}} \rightarrow P(238) = 101325 \cdot \left( \frac{288,15 - 6,5 \cdot 10^{-3} \cdot 238}{288,15} \right)^{-\frac{9,81}{286,9 \cdot (-6,5 \cdot 10^{-3})}} =$$

$$\mathbf{98495,91 Pa}$$

$$\bullet p(h) = p_o \cdot \left( \frac{T_o + \lambda \cdot h}{T_o} \right)^{-\frac{g}{R \cdot \lambda}} \rightarrow p(238) = 1,225 \cdot \left( \frac{288,15 - 6,5 \cdot 10^{-3} \cdot 238}{288,15} \right)^{-\frac{9,81}{286,9 \cdot (-6,5 \cdot 10^{-3})}} = 1,197 \frac{kg}{m^3}$$

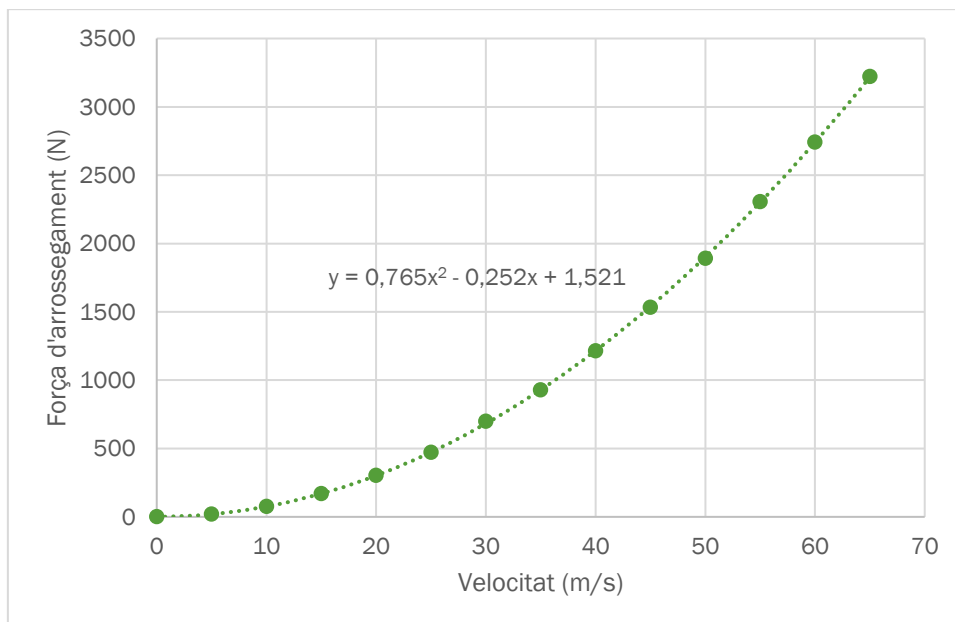
Per conèixer la força d'arrossegament en funció de la velocitat del vagó a través del SolidWorks Flow Simulation s'ha d'introduir com a variables:

- Tipus de fluid → Extern
- Fluid → Aire
- Condicions atmosfèriques →  $T = 286,603 K$   $P = 98495,91 Pa$

$$p = 1,197 \frac{kg}{m^3}$$

- Condicions velocitat → de 0 a 65 m/s negativa en l'eix Z

A partir d'aquestes condicions es realitza un projecte per trobar la força d'arrossegament. Cada 5 m/s s'efectua un estudi i trobem aquesta força fins assolir els 65 m/s, que es la velocitat més alta que es coneix avui dia en una muntanya russa, concretament *Formula Rossa*.



Gràfica 5.1 – Força d'arrossegament del vagó segons la velocitat de l'aire. Font: Excel.

$$F_{arr} = 0,765v^2 - 0,252v + 1,521$$

Degut que l'equació de la força d'arrossegament és en funció corba s'ha realitzat una regressió polinòmica de segon grau.

## 5.4 SISTEMA DE LES RODES

Per calcular totes les dades necessàries relacionades amb les rodes hem de tenir en compte el fregament de les rodes sobre la via per tal que sigui el menor possible. Les dades a determinar són les següents:

$\mu_1 \rightarrow$  Coeficient de fregament de les rodes de carga

$\mu'_1 \rightarrow$  Coeficient de fregament de les rodes guia

$\mu_2 \rightarrow$  Coeficient de fregament dels coixinets

Les rodes escollides seran fabricades per Blickle, que es dedica a la fabricació i comercialització de rodes autoritzables destinades principalment als sectors industrials, logístics, hospitalaris, col·lectivitats i de mobiliari, buscant l'excel·lència en qualitat, gamma i servei al client.

- Preselecció de les rodes:

Per les rodes de carga: rodes Nylon

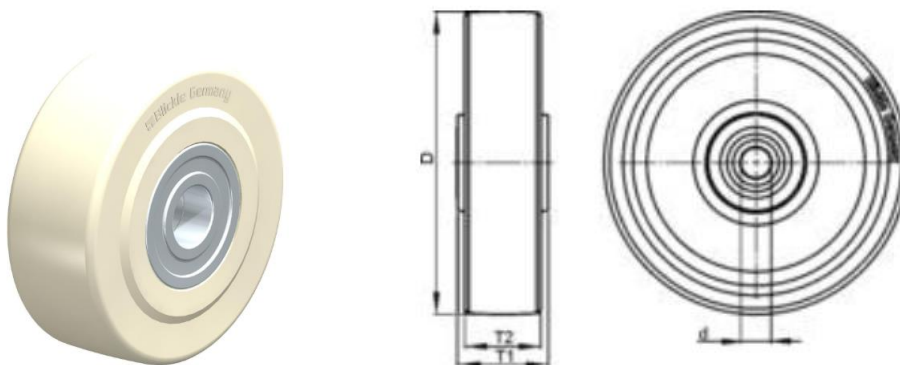


Fig. 5.13 – Croquis de la roda de carga de Nylon. Font: Blickle, catàleg de rodes industrials.

- Ø Roda  $\rightarrow$  150 mm
- Ample roda  $\rightarrow$  55 mm
- Capacitat de càrrega  $\rightarrow$  2500 kg
- Ø Eix  $\rightarrow$  30 mm
- Llarg de cub  $\rightarrow$  60 mm
- Pes per unitat  $\rightarrow$  1,6 kg
- Resistència a la temperatura  $\rightarrow$  -25 °C

- Resistència a la temperatura fins  $\rightarrow 80\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Duresa de banda de rodament  $\rightarrow 80\text{ }^{\circ}\text{C Shore D}$
- Tipus de rodament  $\rightarrow$  Coixinet a boles.

Per les rodes guia: rodes Nylon

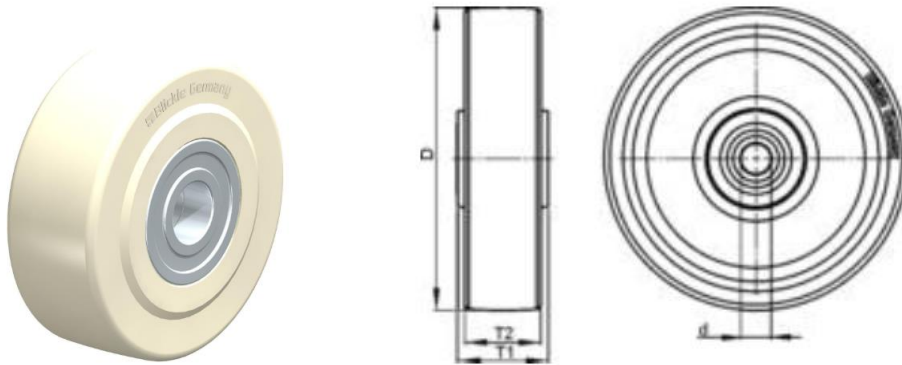


Fig. 5.14 – Croquis de les rodes guia de Nylon. Font: Blickle, catàleg de rodes industrials.

- $\varnothing$  Roda  $\rightarrow 100\text{ mm}$
- Ample roda  $\rightarrow 40\text{ mm}$
- Capacitat de càrrega  $\rightarrow 1250\text{ kg}$
- $\varnothing$  Eix  $\rightarrow 20\text{ mm}$
- Llarg de cub  $\rightarrow 45\text{ mm}$
- Pes per unitat  $\rightarrow 0,6\text{ kg}$
- Resistència a la temperatura  $\rightarrow -25\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Resistència a la temperatura fins  $\rightarrow 80\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Duresa de banda de rodament  $\rightarrow 80\text{ }^{\circ}\text{C Shore D}$
- Tipus de rodament  $\rightarrow$  Coixinet a boles.

Per les rodes de seguretat: rodes d'elastòmer de poliuretà

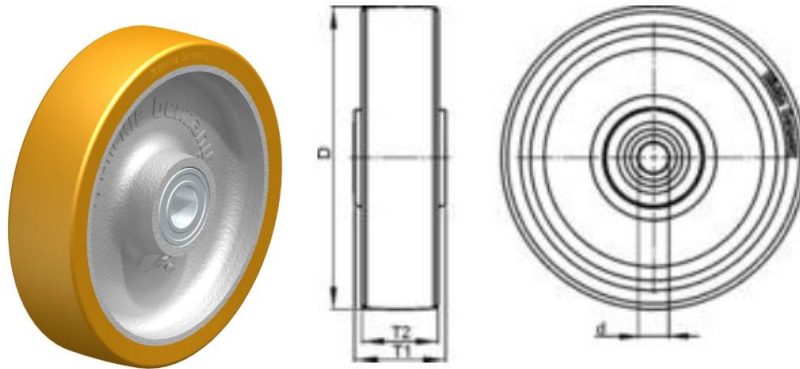
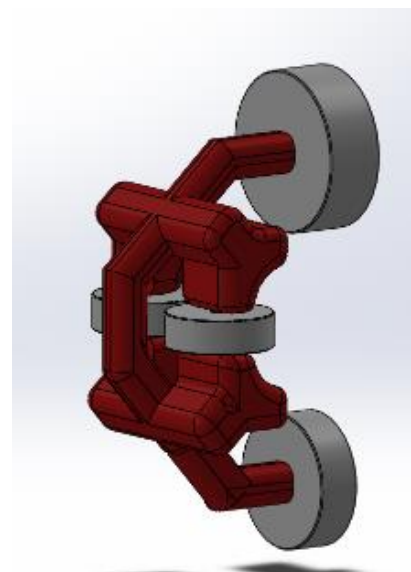


Fig. 5.15 – Croquis de les rodes de seguretat d'elastòmer de poliuretà. Font: Blickle, catàleg de rodes industrials.

- Ø Roda → 125 mm
- Ample roda → 40 mm
- Capacitat de càrrega → 500 kg
- Ø Eix → 15 mm
- Llarg de cub → 45 mm
- Pes per unitat → 1,4 kg
- Resistència a la temperatura → -25 °C
- Resistència a la temperatura fins → 70 °C
- Duresa de banda de rodament → 92 °C Shore D
- Tipus de rodament → Coixinet a boles.

Després de realitzar la selecció de les rodes, ens disposem a fer el muntatge final de les rodes.

Fig. 5.16 – Muntatge final del sistema de rodes. A dalt la roda de carga. En el mig les dues rodes guia. A sota la roda de seguretat. Font: SolidWorks.





Per trobar els coeficients de fregament s'ha de realitzar els següents passos.

En el rodament d'un cilindre deformable sobre un paviment no deformable les forces que hi apareixen són:

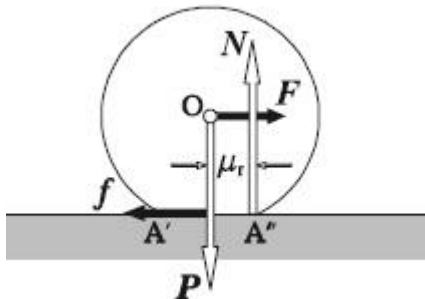


Fig. 5.17 – Rodament d'un cilindre deformable sobre un paviment no deformable. Font: Wikipedia, resistència al rodament.

En les situacions reals, els cossos es deformen, per poc que sigui. El contacte es realitza al llarg d'una estreta banda A'A''. Això dóna lloc al fet que apareguin reaccions en els suports, reaccions que donen lloc a l'aparició d'un par que s'oposa al rodament.

El par de resistència al rodament i el par aplicat són,

$$M_{res} = \mu_T \cdot N$$

$$M_{apl} = R \cdot F$$

En condicions crítiques, quan comença el rodament, el par aplicat o d'arrencada serà més gran que el parell resistent, de manera que,

$$M_{apl} \geq M_{res} \rightarrow R \cdot F \geq \mu_T \cdot N$$

de manera que el cilindre començarà a rodar si,

$$F \geq \frac{\mu_T \cdot N}{R} = C_{rr} \cdot N$$

La magnitud  $\mu_T$ , que té dimensions de longitud, és l'anomenat coeficient de resistència a la rodament. De les expressions anteriors es dedueix que el parell aplicat és proporcional a la reacció normal N, i que la força de tracció necessària per a l'arrencada és inversament proporcional al radi del cilindre. El valor del coeficient  $\mu_T$  depèn de la naturalesa dels cossos en contacte.

$$C_{rr} = \frac{\mu_T}{R}$$

Tread Material	Floor Material	Coefficient of Rolling Friction (inches @ 3mph)
Forged Steel	Steel	0.019
Cast Iron	Steel	0.021
Hard Rubber	Steel	0.303
Polyurethane	Steel	0.030 - 0.057*
Cast Nylon	Steel	0.027
Phenolic	Steel	0.026

Taula 5.1 – Taula de diferents coeficients de rodament. Font: IEN, Rolling resistance and industrial wheels.

El coeficient de rodament del nylon sobre l'acer és de 0.027 inches que és el mateix que 0,6858.

- Roda de carga:

$$\mu_1 = \frac{\mu_T}{r} = \frac{0,6858}{75} = 9,144 \cdot 10^{-3}$$

- Roda guia:

$$\mu'_1 = \frac{\mu_T}{r} = \frac{0,6858}{50} = 1,372 \cdot 10^{-2}$$

Per trobar el coeficient de rodament que hi actuen en els coixinets, hem de partir d'un  $\mu_T$  de 1.5, ja que és el valor quan esta engreixat i en moviment. S'aconsella lubricar-lo una vegada per any.

Com el radi de l'eix de la roda és de 30 mm.

$$\mu_2 = \frac{\mu_T}{r} = \frac{1,5}{15} = 0,1$$

## 5.5 REVISIÓ FINAL DE LA VIA

Estudiarem la dinàmica i la cinemàtica del vagó utilitzant tots els valors que hem anat trobant en els apartats anteriors.

L'equació que vam obtenir va ser:

$$Ec_f + Ep_f = Ec_o + Ep_o - F_{arr} \cdot l - F_{carga} \cdot l - F_{guia} \cdot l$$

$$\frac{1}{2}m \cdot v_2^2 + m \cdot g \cdot h_2 = \frac{1}{2}m \cdot v_1^2 + m \cdot g \cdot h_1 - F_{arr} \cdot l - F_{carga} \cdot l - F_{guia} \cdot l$$

on,  $v_1$  és la velocitat en el punt 1

$v_2$  és la velocitat en el punt 2

$h_1$  és l'altura en el punt 1

$h_2$  és l'altura en el punt 2

$m$  és la massa del vagó

$g$  és la gravetat

$F_{arr}$  és la força d'arrossegament

$F_{carga}$  és la força de fricció de les rodes de carga

$F_{guia}$  és la força de fricció de les rodes guia

$l$  és la longitud entre el punt 1 i 2

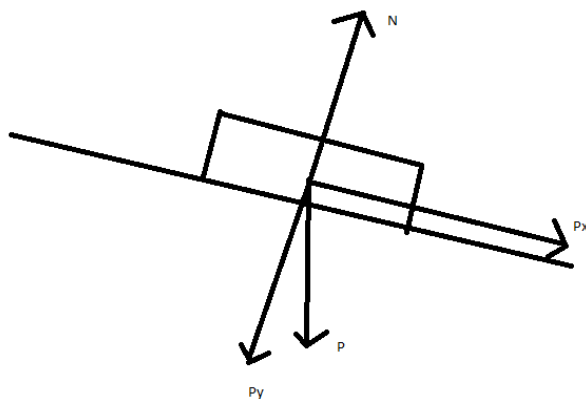


Fig. 5.18 – Croquis de la descomposició del pes i la força N en un cos en pendent. Font: Paint.

$$m = 2217 \text{ kg}$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

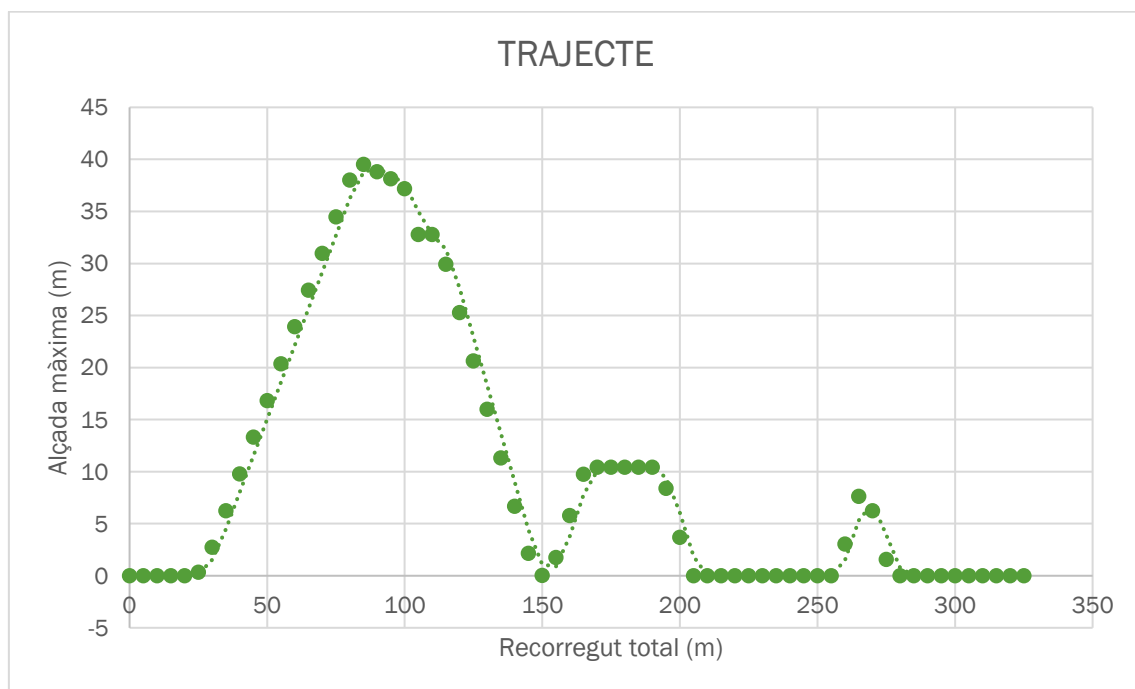
$$F_{arr} = 0.765v_m^2 - 0.252v_m + 1.521 \rightarrow F_{arr} = 0.765 \cdot \left(\frac{v_1 + v_2}{2}\right)^2 - 0.252 \cdot \left(\frac{v_1 + v_2}{2}\right) + 1.521$$

$$F_{carga} = (\mu_1 + \mu_2) \cdot m \cdot g \cdot \cos\alpha$$

$$F_{guia} = (\mu_1' + \mu_2) \cdot m \cdot g \cdot \cos\alpha$$

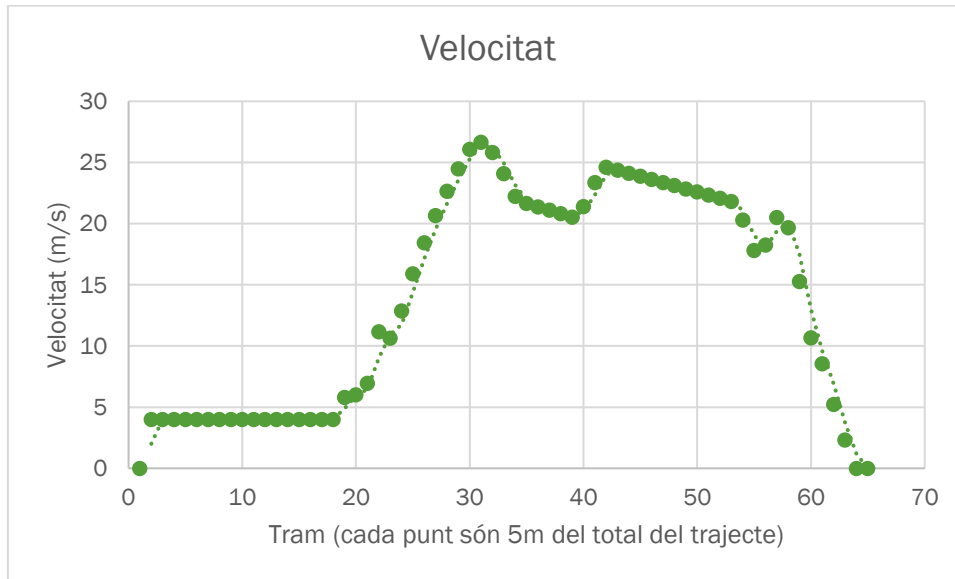
Totes aquestes dades es troben punt per punt en una fulla d'EXCEL per arribar a trobar la velocitat que hi ha en cada punt designat de la muntanya russa.

- Perfil: En aquesta gràfica es representa l'alçada màxima que assoleix la muntanya russa al llarg de tot el trajecte.



Gràfica 5.2 – Taula de l'altura màxima per cada punt estudiat de la muntanya russa. Font: Excel.

- Velocitat:



Gràfica 5.3 – Taula de la velocitat màxima per cada punt estudiat de la muntanya russa. Font: Excel.

Com observem en la gràfica, la velocitat màxima assolida en la muntanya russa és de 26,647 m/s, **95,929 km/h**.

L'atracció comença amb una velocitat constant de 4 m/s al llarg de la primera pujada gràcies a la cadena de la colina ascensora. Assolit el punt màxim, el vagó queda lliure i actua la força de gravetat, assolint així en el punt més baix, els 95.929 km/h. Aquesta velocitat és lo suficient acceptable per realitzar la segona pujada sense cap mena de problema disminuint la seva velocitat fins 77,94 km/h. Aquest mateix fenomen passa en el cim que hi apareix a continuació, on els 78,51 km/h són suficients per realitzar el tram.

A partir del punt 58, hi haurà un sistema de frenat per tal que el vagó arribi a l'estació totalment parat.

## 6. VALORACIÓ ECONÒMICA

En aquest apartat es reflectirà els costos del vehicle segons el seu diseny, la fabricació i els materials utilitzats. Es realitzarà una suma de tots els conceptes susceptibles en un cost total.

### 6.1 COST D'ENGINYERIA

Segons la norma UNE-EN 13814:2006, maquinària i estructures per a parcs i fires d'atraccions, el cost d'enginyeria esta implicat en tres tipus de professionals, el tècnic administratiu, el delineant i l'enginyer tècnic.

Professional	Tarifa (€/h)
tècnic administratiu	20
delineant	30
l'enginyer tècnic	40

Taula. 6.1 – Taula del preu de tarifa dels diferents professionals. Font: Norma UNE-EN 13814.

En la següent taula, es resumeixen tots els diferents apartats per a la fabricació de la muntanya russa relacionant-los amb les tarifes dels operaris.

Apartat	Hores (h)	Responsable	Total (€)
Anàlisis previ	35	l'enginyer tècnic	1.400
Diseny vagó	25	l'enginyer tècnic	1.000
Calculs del vagó	35	l'enginyer tècnic	1.400
Calculs de les forces	85	l'enginyer tècnic	3.400
Disseny 3D	40	l'enginyer tècnic	1.600
Elaboració plànols	20	delineant	600
Memòria tècnica	25	tècnic administratiu	500
Annexes	10	tècnic administratiu	200
Administració	15	tècnic administratiu	300
<b>TOTAL</b>			<b>10.400</b>

Taula. 6.2 – Taula del preu dels operaris en els diferents àmbits. Font: Excel.

El cost total de l'enginyeria és de **10.400 €**.



## 6.2 COST DE FABRICACIÓ

En el cost de fabricació es tindrà en compte els materials triats i les operacions realitzades per dur a terme el mecanitzat de totes les peces necessàries.

Per començar utilitzarem una taula amb un resum del preu de la fabricació.

Maquinaria	Tarifa (€/h)
Mecanitzat	50
Fresadora	40
Torn	30
Trepant Vertical	25
Manual	20
Inyecció	50

Taula. 6.3 – Taula de la tarifa de diferents màquines de fabricació. Font: Excel.

Per a la carrosseria del vagó s'ha dissenyat la següent taula:

Peça	Volum (m3)	Material	Pes (kg)	Unitats/h	Cost (€)
Chapa frontal	0,027556801	Fibra de vidre	67,2385948	1	114,977997
Chapa posterior	0,04952935	Fibra de vidre	120,851614	1	206,65626
Chapa lateral esquerra	0,048332646	Fibra de vidre	117,931656	1	201,663132
Chapa lateral dreta	0,048332646	Fibra de vidre	117,931656	1	201,663132
Chapa inferior	0,120387334	Fibra de vidre	293,745094	1	502,30411
Chapa subjecció de les rodes	0,104348134	Fibra de vidre	254,609447	1	435,382154
				<b>TOTAL</b>	<b>1662,64679</b>

Taula. 6.4 – Taula de la fabricació de la carrosseria del vagó. Font: Excel.

On, la densitat de la fibra de vidre és de 2440 kg/m3 i el preu de la fibra per quilo és de 1,71 euros. El cost total de la fabricació de la carrosseria ascendeix fins els **1.662,65 €**

Per al sistema de rodes s'ha de dissenyar una altra taula partint dels eixos d'aquestes rodes:

Peça	Volum (m3)	Material	Pes (kg)	Operació	Unitats/h	Cost (€)	
Eix roda carga	0,000336	Acer F 154	2,6376	-	1	2,34904656	
				Torn	0,5	15	
				Manual	0,15	3	
				Tractament tèrmic	1	100	
						<b>120,349047</b>	Unitari
						<b>481,396186</b>	Total x4
Eix roda guia	0,0001125	Acer F 154	0,883125	-	1	0,78651113	
				Torn	0,5	15	
				Manual	0,15	3	
				Tractament tèrmic	1	30	
						<b>48,7865111</b>	Unitari
						<b>390,292089</b>	Total x8
Eix roda seguretat	0,0002875	Acer F 154	2,256875	-	1	2,00997288	
				Torn	0,5	15	
				Manual	0,15	3	
				Tractament tèrmic	1	100	
						<b>120,009973</b>	Unitari
						<b>480,039892</b>	Total x4
						<b>1351,72817</b>	Total

Taula. 6.5 – Taula de la fabricació dels eixos de les rodes del vagó. Font: Excel.

Així que, el preu final de la fabricació dels eixos de les rodes és de **1.351,73 €**.

I per finalitzar el cost de la fabricació hem de dissenyar una taula amb els materials y fabricació dels seients:

Peça	Material	Operació	Unitats/h	Cost (€)	
Seient	Poliuretà	-	1	100	
		Inyecció	1	50	
		Manual	1	20	
				<b>170</b>	Unitari
				<b>680</b>	Total x4
	Motlle d'inyecció	-	1	15000	
				<b>15680</b>	TOTAL

Taula. 6.6 – Taula de la fabricació dels seients. Font: Excel.

En aquest cas s'ha de sumar al preu final el motlle per dur a terme la injecció de la peça. El preu final de la fabricació dels seients és de **15.680 €**.

Així que, com a resultat de tots d'apartats del cost de la fabricació, el cost final ascendeix fins els **18.694,38 €**.

## 6.3 COST DELS COMPONENTS COMERCIALS

En aquest apartat realitzarem una taula amb els materials comercials que s'utilitzen majoritàriament per el sistema de les rodes.

Peça	Unitats	€/unitat	Cost (€)
Roda Bickle GSPO 150/30K	4	288,62	1154,48
Roda Bickle GSPO 100/20K	8	76,18	609,44
Roda Bickle GTH 125/15K	4	69,89	279,56
Cargol M20x45 (DIN 933)	16	1,99	31,84
Volandera M30 (DIN 125)	8	0,39	3,12
Volandera M20 (DIN 125)	16	0,08	1,28
Volandera M15 (DIN 125)	8	0,34	2,72
Rosca M30 (DIN 935)	8	1,41	11,28
Rosca M20 (DIN 935)	16	1,2	19,2
Rosca M15 (DIN 935)	8	0,69	5,52
			<b>2099,24</b>

Taula. 6.7 – Taula dels elements convencional. Font: Excel.

El cost final de les peces comercials és de **2.099,24 €**.

## 6.4 COST TOTAL DEL VEHICLE

En aquest apartat es coneixerà el cost definitiu del vagó sumant-li un 21% d'IVA.

Tipus de cost	Cost definitiu
Cost enginyeria	10400
Cost fabricació	18694,38
Cost elements comercials	2099,24
<b>Subtotal</b>	<b>31193,62</b>
IVA (21%)	6550,6602
<b>TOTAL</b>	<b>37744,2802</b>

Taula. 6.8 – Taula del cost definitiu del vagó.  
Font: Excel.

Com observem en la taula, el cost definitiu del vagó és de **37.744,28 euros**.

## 7.CONCLUSIÓ

En primer lloc, l'objectiu principal del projecte s'ha complert, el disseny i estudi d'una muntanya russa.

En la via s'ha realitzat un croquis a cotes reals i posteriorment s'ha estudiat la dinàmica del vehicle sobre la via, obtenint les velocitats que hi obté. També s'han calculat les diferents forces que hi apareixen al llarg del trajecte que exerceix el vagó sobre la via.

Per al vagó, s'ha realitzat un disseny com en el cas de la via, però en aquest apartat s'ha estudiat amb més profunditat el sistema de rodes, les forces aerodinàmiques i el cost final de la fabricació del vehicle.

Com a disseny, s'ha realitzat un model molt semblant als ja existents, per entendre més com funciona la física en un parc d'atraccions, tant com per calcular la velocitat en diferents trams del trajecte tant com per saber quines són totes les forces que hi apareixen.

A l'hora de dur a terme la fabricació final, s'ha intentat utilitzar els materials més comuns en l'àmbit de la construcció de muntanyes russes per tal de dur a terme una fàcil fabricabilitat.

Com a objectius personals, he pogut realitzar de forma satisfactòria la muntanya russa i el vagó en un programa 3D com ho és el SolidWorks, aplicant els conceptes que hi he anat assolint al llarg del grau d'enginyeria mecànica. El mateix passa en la dinàmica i la cinemàtica, on amb els conceptes assolits, he pogut realitzar de forma més coherent i entenedora el projecte. Al llarg del projecte he anat aprenent nous conceptes, com és en el cas de les forces de fregament que hi apareixen en les rodes del vagó sobre la via, com la utilització de diferents complements del SolidWorks per tal de trobar la força aerodinàmica o les propietats físiques del vehicle.

El resultat del treball ha sigut satisfactori tant en l'àmbit acadèmic com en el personal.

# 8.BIBLIOGRAFIA I

## WEBGRAFIA

Parque de atracciones. Wikipedia. Última modificació: 13 juny 2018 [en línia].  
Data de consulta: febrer 2018. Disponible en:  
[https://es.wikipedia.org/wiki/Parque\\_de\\_atracciones](https://es.wikipedia.org/wiki/Parque_de_atracciones)

Montaña rusa. Wikipedia. Última modificació: 4 març 2018 [en línia]. Data de  
consulta: febrer 2018. Disponible en:  
[https://es.wikipedia.org/wiki/Monta%C3%B1a\\_rusa](https://es.wikipedia.org/wiki/Monta%C3%B1a_rusa)

Parque temático. Wikipedia. Última modificació: 13 maig 2018 [en línia]. Data  
de consulta: febrer 2018. Disponible en:  
[https://es.wikipedia.org/wiki/Parque\\_tem%C3%A1tico](https://es.wikipedia.org/wiki/Parque_tem%C3%A1tico)

The Evolution of Roller Coasters: From Russian Ice Slides to American Steel  
Marvels. IPWatchdog. Última modificació: 27 juliol 2015 [en línia]. Data de  
consulta: febrer 2018. Disponible en:  
<http://www.ipwatchdog.com/2015/07/27/the-evolution-of-roller-coasters-from-russian-ice-slides-to-american-steel-marvels/id=58894/>

PROMENADES AÉRIENNES. L'HISTOIRE PAR L'IMAGE. Última modificació:  
juliol 2007 [en línia]. Data de consulta: febrer 2018. Disponible en:  
<https://www.histoire-image.org/etudes/promenades-aeriennes>

The 'Gravity Switch Back Railway' Was the Original Roller Coaster – Here's  
the Patent Drawing. Adafruit. Última modificació: 30 desembre 2016 [en línia].  
Data de consulta: febrer 2018. Disponible en:  
<https://blog.adafruit.com/2016/12/30/the-gravity-switch-back-railway-was-the-original-roller-coaster-heres-the-patent-drawing/>

Loop the Loop Roller Coaster (1901-1910), Giant Racer (1910-1927) & Cyclone. Heartofconeyisland. Última modificació: 2015 [en línia]. Data de consulta: febrer 2018. Disponible en: <http://www.heartofconeyisland.com/loop-the-loop-roller-coaster.html>

Matterhorn Bobsleds. Disneyland Resort. Coaster (1901-1910), Giant Racer (1910-1927) & Cyclone. Heartofconeyisland. Última modificació: 2018 [en línia]. Data de consulta: març 2018. Disponible en: <https://disneyland.disney.go.com/es/disneyland/matterhorn-bobsleds/>

Inspecciones reglamentarias. Tüv-süd-atisae. Última modificació: 2018 [en línia]. Data de consulta: març 2018. Disponible en: <https://www.tuv-sud-atisae.es/tsa>

Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento electrotécnico para baja tensión. BOE. Última modificació: 2002 [en línia]. Data de consulta: març 2018. Disponible en: [https://www.boe.es/diario\\_boe/txt.php?id=BOE-A-2002-18099](https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2002-18099)

DECRET 363/2004, de 24 d'agost, pel qual es regula el procediment administratiu per a l'aplicació del Reglament electrotècnic per a baixa tensió. Portal Jurídic de Catalunya. Última modificació: 2004 [en línia]. Data de consulta: març 2018. Disponible en: [http://portaljuridic.gencat.cat/ca/pjur\\_ocults/pjur\\_resultats\\_fitxa/?action=fitxa&documentId=367177&language=ca\\_ES&textWords=842%2F2002&mode=single](http://portaljuridic.gencat.cat/ca/pjur_ocults/pjur_resultats_fitxa/?action=fitxa&documentId=367177&language=ca_ES&textWords=842%2F2002&mode=single)

LLEI 3/2010, del 18 de febrer, de prevenció i seguretat en matèria d'incendis en establiments, activitats, infraestructures i edificis. Portal Jurídic de Catalunya. Última modificació: 2018 [en línia]. Data de consulta: març 2018. Disponible en: Portal Jurídic de Catalunya. Última modificació: 2010 [en línia]. Data de consulta: març 2018. Disponible en: [http://portaljuridic.gencat.cat/ca/pjur\\_ocults/pjur\\_resultats\\_fitxa/?documentId=547998&action=fitxa](http://portaljuridic.gencat.cat/ca/pjur_ocults/pjur_resultats_fitxa/?documentId=547998&action=fitxa)



REAL DECRETO 1942/1993, de 5 de noviembre, por el que Se aprueba el Reglamento de instalaciones de protección contra incendios. BOE. Última modificació: 1993 [en línia]. Data de consulta: març 2018. Disponible en: <https://www.boe.es/boe/dias/1993/12/14/pdfs/A35159-35168.pdf>

Montañas rusas de acero. Montañas rusas.net. Última modificació: 2005 [en línia]. Data de consulta: març 2018. Disponible en: <http://www.xn--montaasrusas-ehb.net/montanas-rusas-de-acero>

Decreto 195/2007, de 26 de junio, por el que se establecen las condiciones generales para la celebración de espectáculos públicos y actividades recreativas de carácter ocasional y extraordinario. Ayuntamiento de Granada. Última modificació: 2007 [en línia]. Data de consulta: març 2018. Disponible en: <https://www.granada.org/inet/wordenanz.nsf/wwtod/6E649B1F33F67888C12573FC003A17C5?opendocument>

Montañas rusas de madera. Montañas rusas.net. Última modificació: 2005 [en línia]. Data de consulta: març 2018. Disponible en: <http://www.xn--montaasrusas-ehb.net/montanas-rusas-de-madera>

Las desventajas de una montaña rusa de acero. Bueno saber. Última modificació: 2014 [en línia]. Data de consulta: març 2018. Disponible en: <http://bueno-saber.com/aficiones-juegos-y-juguetes/las-desventajas-de-una-montana-rusa-de-acero.php>

Elementos de una montaña rusa. Wikipedia. Última modificació: 6 abril 2018 [en línia]. Data de consulta: abril 2018. Disponible en: [https://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Elementos\\_de\\_una\\_monta%C3%B1a\\_rusa](https://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Elementos_de_una_monta%C3%B1a_rusa)

Tecnologías en los parques de diversiones. Juan Campbell. Montañas rusas. Última modificació: 25 setembre 2013 [en línia]. Data de consulta: abril 2018. Disponible en: <https://sites.google.com/site/kehrhahncampbell/juan-campbell/pagina-2>

Sistemas de frenado. Fisicatraccion. Última modificació: 2003 [en línia]. Data de consulta: abril 2018. Disponible en: <http://fisicatraccion.weebly.com/sistemas-de-frenado.html#>

Elementos de una montaña rusa. Parketematiko. Última modificació: 2003 [en línia]. Data de consulta: abril 2018. Disponible en: <http://parketematiko.com/coasters/elementos.htm>

Nylon. Materials World. Última modificació: 2018 [en línia]. Data de consulta: maig 2018. Disponible en: <https://www.mwmaterialsworld.com/es/materiales/plasticos-tecnicos-y-otros/nylon.html>

Resistencia a la rodadura. Wikipedia. Última modificació: 8 desembre 2017 [en línia]. Data de consulta: abril 2018. Disponible en: [https://es.wikipedia.org/wiki/Resistencia\\_a\\_la\\_rodadura](https://es.wikipedia.org/wiki/Resistencia_a_la_rodadura)

Fuerzas de rozamiento (GIE). Departamento de Física Aplicada III, Universidad de Sevilla. Última modificació: 8 novembre 2013 [en línia]. Data de consulta: maig 2018. Disponible en: [http://laplace.us.es/wiki/index.php/Fuerzas\\_de\\_rozamiento\\_\(GIE\)](http://laplace.us.es/wiki/index.php/Fuerzas_de_rozamiento_(GIE))

Coasters-101: Wheel Design. Coaster 101. Última modificació: 24 octubre 2011 [en línia]. Data de consulta: maig 2018. Disponible en: <https://www.coaster101.com/2011/10/24/coasters-101-wheel-design/>

The Coaster Zone. Última modificació: 26 maig 2018 [en línia]. Data de consulta: maig 2018. Disponible en: <https://www.thecoasterzone.com/>

Coasterpedia The Roller Coaster Wiki. Coasterpedia. Última modificació: 31 juliol 2017 [en línia]. Data de consulta: maig 2018. Disponible en: <https://coasterpedia.net/>

Características aceros especiales. Metal Service. Última modificació: 2017 [en línia]. Data de consulta: juny 2018. Disponible en: <http://www.metal-service.net/pdf/CARACTERISTIQUES%20ACERS.pdf>

Parques de Ocio, Servicios de Control, Inspección y Certificación. Tüv-süd. Última modificació: 2017 [en línia]. Data de consulta: juny 2018. Disponible en: <https://www.tuv-sud.es/uploads/images/1491298233803422600188/es-tuv-sud-energia-parques-ocio.pdf>

Bearing Friction. Machine Design. Última modificació: 15 novembre 2002 [en línia]. Data de consulta: juny 2018. Disponible en: <http://www.machinedesign.com/basics-design/bearing-friction>

Fibra de vidrio. Castro Composites. Última modificació: 2018 [en línia]. Data de consulta: juny 2018. Disponible en: <https://www.castrocompositesshop.com/en/63-vidrio>

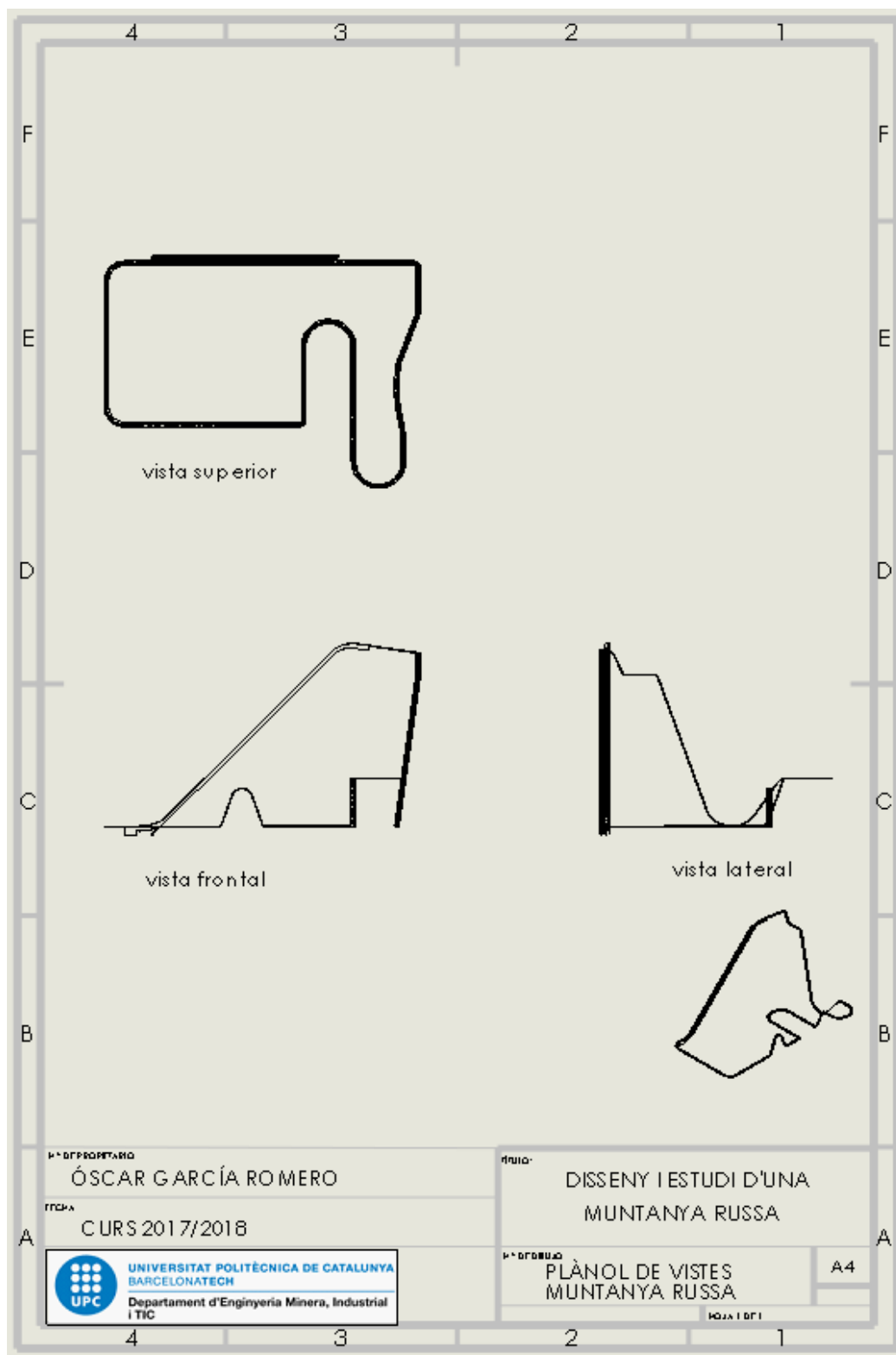
GTH 125/15K, rodes de seguretat. Ruedas Blickle. Última modificació: 2018 [en línia]. Data de consulta: juny 2018. Disponible en: <https://www.blickle.es/es-es/producto/GTH-125-15K-266197>

GSPO 150/30K, rodes de carga. Ruedas Blickle. Última modificació: 2018 [en línia]. Data de consulta: juny 2018. Disponible en: <https://www.blickle.es/es-es/producto/GSPO-150-30K-238576>

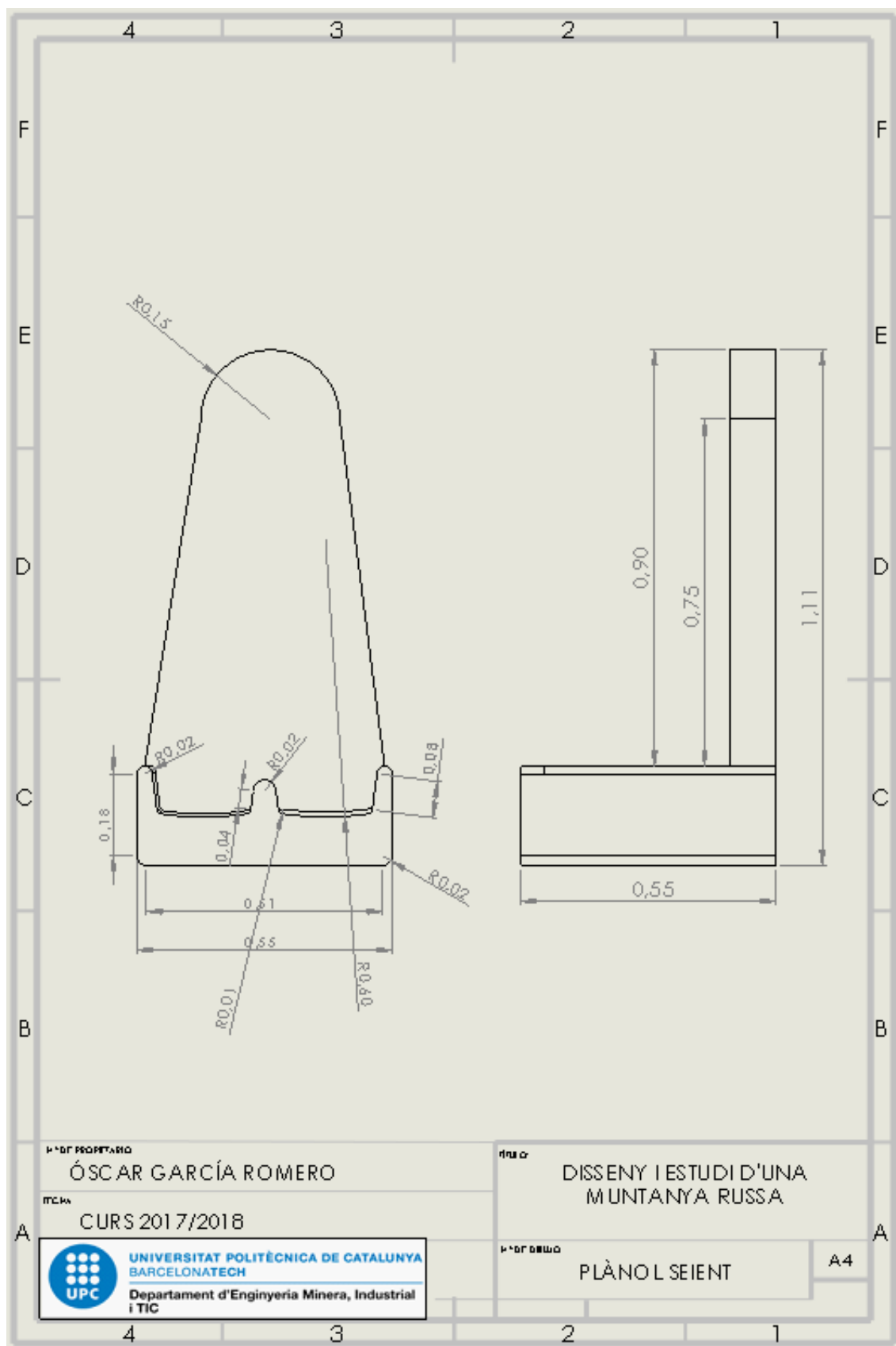
GSPO 100/20K, rodes guia. Ruedas Blickle. Última modificació: 2018 [en línia]. Data de consulta: juny 2018. Disponible en: <https://www.blickle.es/es-es/producto/GSPO-100-20K-72991>

# ANNEXOS

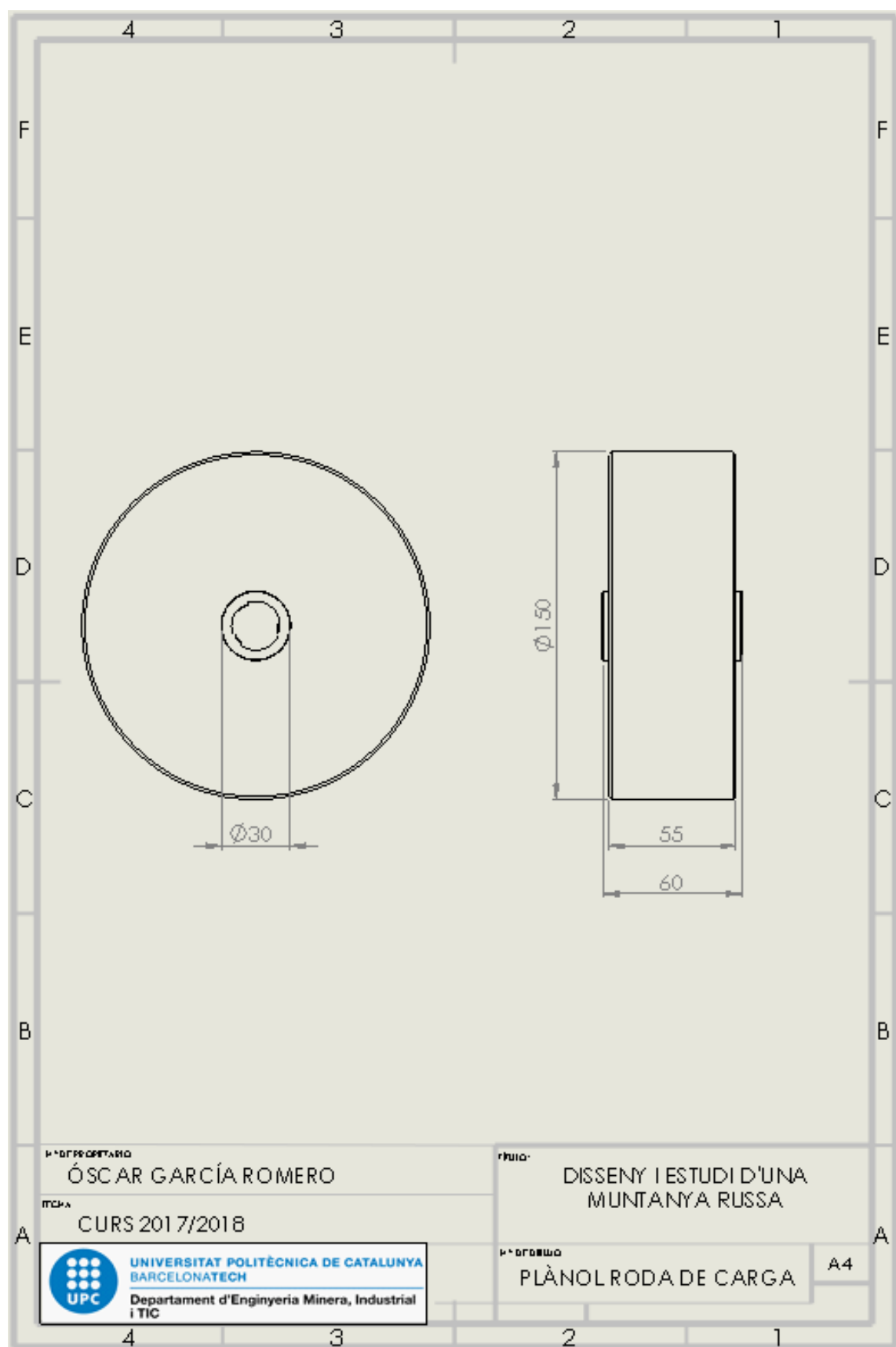
## PLÀNOLS

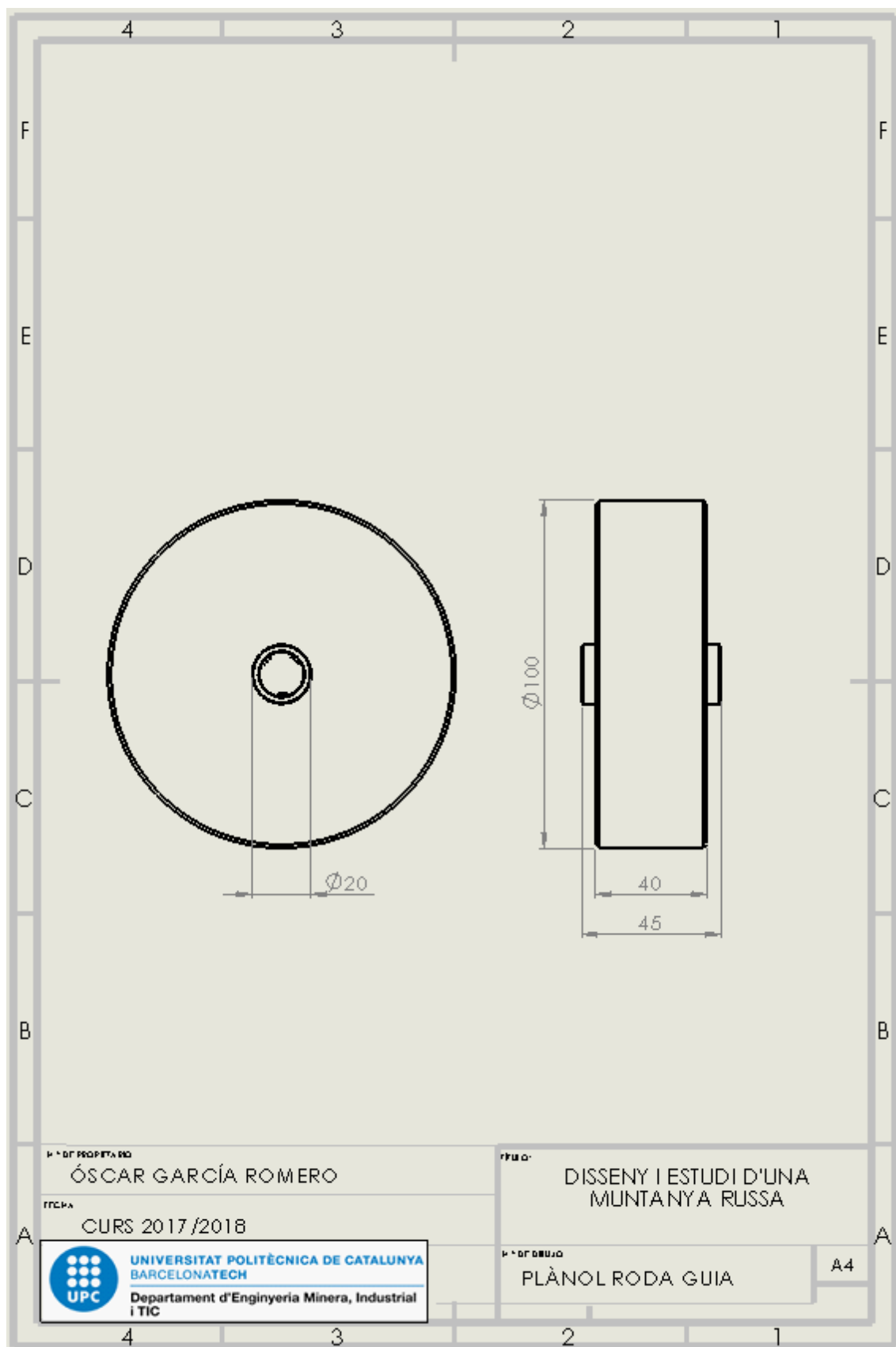


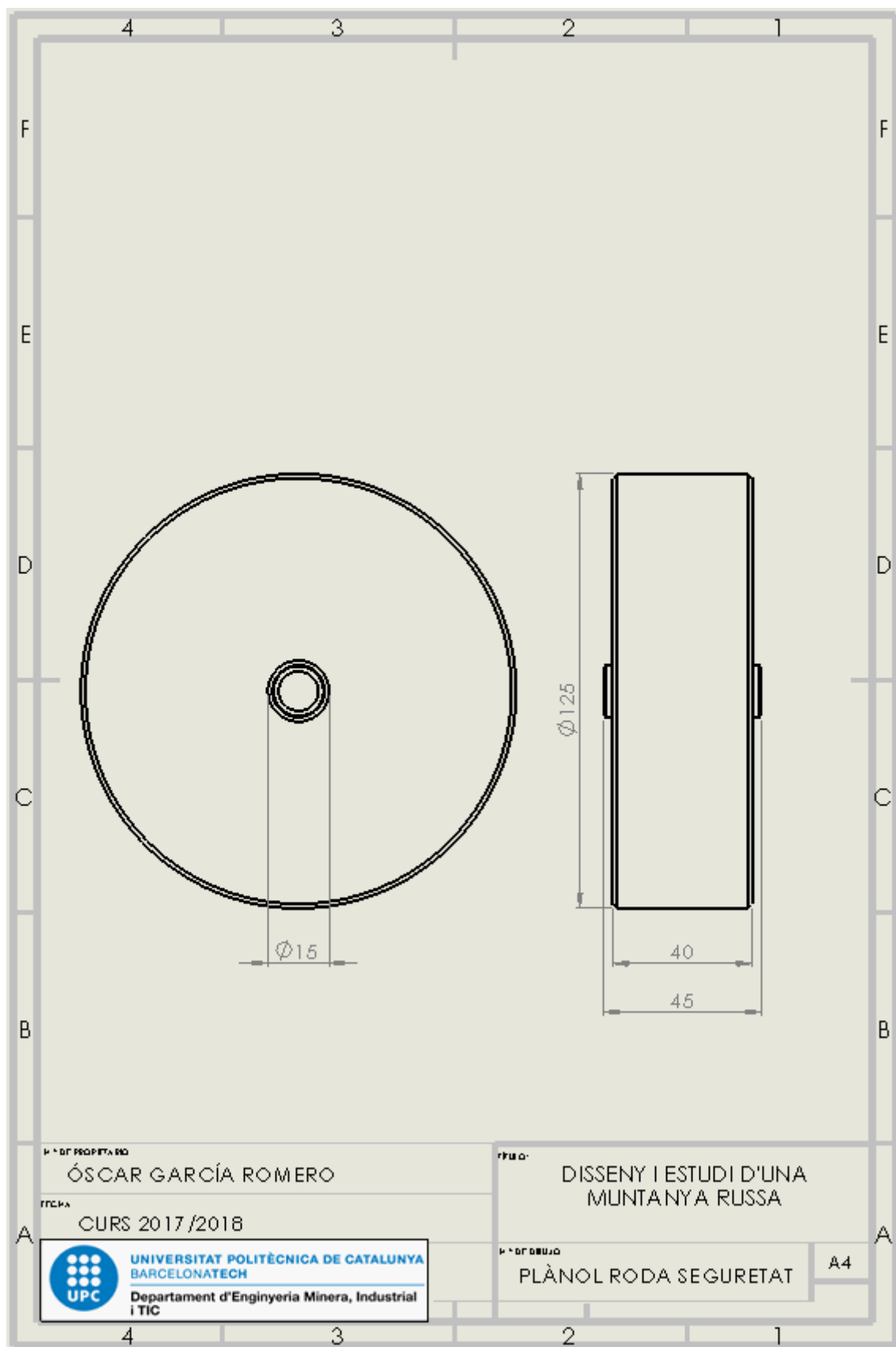






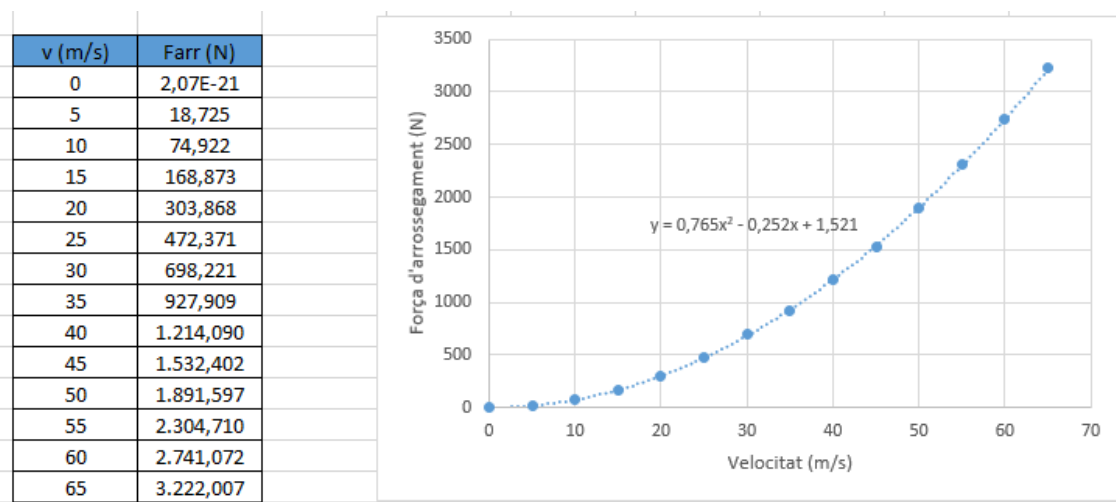






## TAULES EXCEL

### • Força d'arrossegament:



### • Recorregut:

TRAMO		
	X	Y
1	0	0
2	5	0
3	10	0
4	15	0
5	20	0
6	25	0,34
7	30	2,73
8	35	6,26
9	40	9,78
10	45	13,31
11	50	16,84
12	55	20,37
13	60	23,921
14	65	27,43
15	70	30,96
16	75	34,49
17	80	38,02
18	85	39,52
19	90	38,83
20	95	38,131
21	100	37,193
22	105	32,796
23	110	32,796
24	115	29,935
25	120	25,284
26	125	20,632
27	130	15,981
28	135	11,329
29	140	6,678
30	145	2,151
31	150	0,018
32	155	1,765

33	160	5,774	
34	165	9,766	
35	170	10,44	
36	175	10,44	
37	180	10,44	
38	185	10,44	
39	190	10,44	
40	195	8,398	
41	200	3,7	
42	205	0,004	
43	210	0,004	
44	215	0,004	
45	220	0,004	
46	225	0,004	
47	230	0,004	
48	235	0,004	
49	240	0,004	
50	245	0,004	
51	250	0,004	
52	255	0,004	
53	260	3,043	0,004
54	265	7,618	3,043
55	270	6,26	7,618
56	275	1,561	6,26
57	280	0	1,561
58	285	0	
59	290	0	
60	295	0	
61	300	0	
62	305	0	
63	310	0	
64	315	0	
65	320	0	
66	325	0	

• Inclinacions:

Inclinación		
X (punt)	Y (graus)	radianes
1	0	0
2	0	0
3	0	0
4	0	0
5	0	0
6	11,7	0,20420352
7	44,9	0,78365283
8	45	0,78539816
9	45	0,78539816
10	45	0,78539816
11	45	0,78539816
12	45	0,78539816
13	45	0,78539816
14	45	0,78539816
15	45	0,78539816
16	45	0,78539816
17	45	0,78539816
18	3,92	0,06841691
19	8,2	0,143117
20	8,2	0,143117
21	54,28	0,94736472
22	26,1	0,45553093
23	0	0
24	69,81	1,21841435
25	69,81	1,21841435
26	69,81	1,21841435
27	69,81	1,21841435
28	69,81	1,21841435
29	69,81	1,21841435
30	49,72	0,8677777
31	2,58	0,04502949
32	44,53	0,77719512

33	54,28	0,94736472
34	44,31	0,77335539
35	0	0
36	0	0
37	0	0
38	0	0
39	0	0
40	70	1,22173048
41	70	1,22173048
42	0	0
43	0	0
44	0	0
45	0	0
46	0	0
47	0	0
48	0	0
49	0	0
50	0	0
51	0	0
52	0	0
53	0	0
54	70	1,22173048
55	70	1,22173048
56	14,89	0,25987953
57	69,99	1,22155594
58	0	0
59	0	0
60	0	0
61	0	0
62	0	0
63	0	0
64	0	0

• Forces N:

Fuerza N			
X (Punto)	Y (N)		
1	21748,77	33	12697,468
2	21748,77	34	15562,7853
3	21748,77	35	21748,77
4	21748,77	36	21748,77
5	21748,77	37	21748,77
6	21296,8917	38	21748,77
7	15405,5202	39	21748,77
8	15378,7027	40	7438,51743
9	15378,7027	41	7438,51743
10	15378,7027	42	21748,77
11	15378,7027	43	21748,77
12	15378,7027	44	21748,77
13	15378,7027	45	21748,77
14	15378,7027	46	21748,77
15	15378,7027	47	21748,77
16	15378,7027	48	21748,77
17	15378,7027	49	21748,77
18	21697,8882	50	21748,77
19	21526,4156	51	21748,77
20	21526,4156	52	21748,77
21	12697,468	53	21748,77
22	19530,9952	54	7438,51743
23	21748,77	55	7438,51743
24	7506,24859	56	21018,4668
25	7506,24859	57	7442,08428
26	7506,24859	58	21748,77
27	7506,24859	59	21748,77
28	7506,24859	60	21748,77
29	7506,24859	61	21748,77
30	14061,0913	62	21748,77
31	21726,7242	63	21748,77
32	15504,3362	64	21748,77
		65	21748,77

$\mu_1$	0,009144
$\mu_2$	0,1
$\mu_1'$	0,01372
Peso	21748,77

• Forces carga:

Fuerza carga	
X (Punto)	Y (N)
1	5934,36938
2	5934,36938
3	5934,36938
4	5934,36938
5	5934,36938
6	5811,06987
7	4203,55025
8	4196,23283
9	4196,23283
10	4196,23283
11	4196,23283
12	4196,23283
13	4196,23283
14	4196,23283
15	4196,23283
16	4196,23283
17	4196,23283
18	5920,48578
19	5873,69776
20	5873,69776
21	3464,63111
22	5329,22735
23	5934,36938
24	2048,15499
25	2048,15499
26	2048,15499
27	2048,15499
28	2048,15499
29	2048,15499
30	3836,70937
31	5928,35397
32	4230,51316
33	3464,63111

34	4246,4616
35	5934,36938
36	5934,36938
37	5934,36938
38	5934,36938
39	5934,36938
40	2029,67387
41	2029,67387
42	5934,36938
43	5934,36938
44	5934,36938
45	5934,36938
46	5934,36938
47	5934,36938
48	5934,36938
49	5934,36938
50	5934,36938
51	5934,36938
52	5934,36938
53	5934,36938
54	2029,67387
55	2029,67387
56	5735,09885
57	2030,64712
58	5934,36938
59	5934,36938
60	5934,36938
61	5934,36938
62	5934,36938
63	5934,36938
64	5934,36938
65	5934,36938



- Forces guia:

Fuerza guia	
X (Punto)	Y (N)
1	6183,17531
2	6183,17531
3	6183,17531
4	6183,17531
5	6183,17531
6	6054,70631
7	4379,7894
8	4372,16519
9	4372,16519
10	4372,16519
11	4372,16519
12	4372,16519
13	4372,16519
14	4372,16519
15	4372,16519
16	4372,16519
17	4372,16519
18	6168,70963
19	6119,95995
20	6119,95995
21	3609,89014
22	5552,66194
23	6183,17531
24	2134,02648
25	2134,02648
26	2134,02648
27	2134,02648
28	2134,02648
29	2134,02648
30	3997,56826
31	6176,9077
32	4407,88277
33	3609,89014

34	4424,49987
35	6183,17531
36	6183,17531
37	6183,17531
38	6183,17531
39	6183,17531
40	2114,77051
41	2114,77051
42	6183,17531
43	6183,17531
44	6183,17531
45	6183,17531
46	6183,17531
47	6183,17531
48	6183,17531
49	6183,17531
50	6183,17531
51	6183,17531
52	6183,17531
53	6183,17531
54	2114,77051
55	2114,77051
56	5975,55011
57	2115,78456
58	6183,17531
59	6183,17531
60	6183,17531
61	6183,17531
62	6183,17531
63	6183,17531
64	6183,17531
65	6183,17531

• Velocitat:

Velocidad	
X (punto)	Y (m/s)
1	0
2	4
3	4
4	4
5	4
6	4
7	4
8	4
9	4
10	4
11	4
12	4
13	4
14	4
15	4
16	4
17	4
18	4
19	5,796
20	6,0193
21	6,9413
22	11,1577
23	10,647
24	12,864
25	15,8937
26	18,428
27	20,6499
28	22,652
29	24,4876
30	26,083
31	26,647
32	25,8228

33	24,098
34	22,218
35	21,648
36	21,375
37	21,099
38	20,82
39	20,538
40	21,386
41	23,344
42	24,608
43	24,364
44	24,118
45	23,869
46	23,619
47	23,366
48	23,111
49	22,834
50	22,604
51	22,342
52	22,077
53	21,809
54	20,286
55	17,816
56	18,247
57	20,512
58	19,657
59	15,263
60	10,657
61	8,536
62	5,214
63	2,324
64	0
65	0

- Propietats físiques del tren:

**Propiedades físicas**

tren.SLDASM Opciones...

Reemplazar las propiedades de masa... Recalcular

☒ Incluir sólidos/componentes ocultos

☐ Crear operación de centro de masa

☐ Mostrar masa de cordón de soldadura

Informar de valores de coordenadas relativos a: -- predeterminado --

**Propiedades de masa de tren**  
Configuración: Default(1)  
Sistema de coordenadas: -- predeterminado --

Masa = 1335499.76 gramos

Volumen = 694818239.34 milímetros cúbicos

Área de superficie = 20557145.25 milímetros cuadrados

Centro de masa: ( milímetros )  
X = -0.04  
Y = 176.96  
Z = -145.82

Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: ( gramos \* milímetros cuadrados )  
Medido desde el centro de masa.

lx = ( 0.00, -0.14, 0.99)	Px = 279316328380.59
ly = ( 1.00, 0.01, 0.00)	Py = 622730042275.35
lz = (-0.01, 0.99, 0.14)	Pz = 734837084128.51

Momentos de inercia: ( gramos \* milímetros cuadrados )  
Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas

Lxx = 622732389649.12	Lxy = 675520626.11	Lxz = -465005976.15
Lyx = 675520626.11	Lyy = 725786929765.65	Lyz = -635544681.40
Lzx = -465005976.15	Lzy = -63554468140.16	Lzz = 2883641353.00

Momentos de inercia: ( gramos \* milímetros cuadrados )  
Medido desde el sistema de coordenadas de salida.

lxx = 692952634942.19	lxy = 666154108.02	lxz = -457287938.44
lyx = 666154108.02	lyy = 754184037321.70	lyz = -9801685506.39
lzx = -457287938.44	lzy = -98016855063.96	lzz = 3301872773.00

Ayuda Imprimir... Copiar al portapapeles

• Càlculs fets a mà:

$1102,25 \times 500,101 \times 50 = 27556801,3 \text{ mm}^3$   
 $50 \times 211,77 \times 50 = 524425 \text{ mm}^3 \times 11 = 5823675 \text{ mm}^3$   
 $\rightarrow 21733126,1$

$27556801,3 \text{ mm}^3 \times 0,000001 = 27,5568013 \text{ m}^3$   
 $5823675 \text{ mm}^3 \times 0,000001 = 5,823675 \text{ m}^3$   
 $27,5568013 + 5,823675 = 33,3804763 \text{ m}^3$   
 $33,3804763 \text{ m}^3 \times 7850 \text{ kg/m}^3 = 261946,957 \text{ kg}$   
 $261946,957 \text{ kg} \rightarrow 261,947 \text{ t}$

$1300 \times 66197 \times 0031 = 261946,957 \text{ kg}$

Ruedas carga  $\rightarrow 4 \times \phi 30 \times 60$   
 Ruedas guía  $\rightarrow 8 \times \phi 20 \times 45$   
 Ruedas secundàries  $\rightarrow 4 \times \phi 15 \times 45$

Densitat acer  $\rightarrow 7850 \text{ kg/m}^3$   
 Acerio-F155  $\rightarrow 1,411560$

$0,0544 \text{ m}^3 \rightarrow 427,04 \text{ kg}$   
 $0,14239 \text{ m}^3 \rightarrow 1119,15 \text{ kg}$   
 $0,0598 \text{ m}^3 \rightarrow 468,15 \text{ kg}$

Valors econòmics  
 • Acerio-F155  $\rightarrow$  Fibra vidre  
 • Acerio-F155  $\rightarrow$  Fibra vidre  
 • Acerio-F155  $\rightarrow$  Fibra vidre  
 • Acerio-F155  $\rightarrow$  Fibra vidre  
 • Acerio-F155  $\rightarrow$  Fibra vidre  
 • Acerio-F155  $\rightarrow$  Fibra vidre

70x45x45  
 $210 \times 42 \times 42 \rightarrow 370440 \text{ mm}^3$   
 $370440 \text{ mm}^3 \times 0,000001 = 0,37044 \text{ m}^3$   
 $0,37044 \text{ m}^3 \times 7850 \text{ kg/m}^3 = 2906,932 \text{ kg}$

Densitat acer  $\rightarrow 7850 \text{ kg/m}^3$   
 Acerio-F155  $\rightarrow 1,411560$

0,0544 m<sup>3</sup> → 427,04 kg  
 0,14239 m<sup>3</sup> → 1119,15 kg  
 0,0598 m<sup>3</sup> → 468,15 kg



35	0	190	35	6,2503	185	10,44
40	0,12	195	40	9,779	190	10,44
45	0,26,038	200	45	13,308	195	8,398
50	0,79	205	50	16,837	200	3,7
55	1,36	210	55	20,366	205	0,004
60	2,07	215	60	23,921	210	0,004
65	2,94	220	65	27,450	215	0,004
70	3,97	225	70	30,980	220	0,004
75	5,15	230	75	34,509	225	0,004
80	6,5	235	80	38,032	230	0,004
85	8,11	240	85	39,540	235	0,004
90	10,32	245	90	38,844	240	0,004
95	12,28	250	95	38,137	245	0,004
100	17,02	255	100	37,193	250	0,004
105	22	260	105	32,796	255	0,004
110	26,98	265	110	32,796	260	0,004
115	31,96	270	115	29,935	265	3,043
120	36,94	275	120	25,284	270	7,618
125	41,92	280	125	20,632	275	6,26
130	46,9	285	130	15,981	280	1,561
135		290	135	11,329	285	0
140		295	140	6,678	290	
145		300	145	2,152	295	
150		305	150	0,018	300	
155		310	155	1,765	305	
160		315	160	5,774	310	
165		320	165	9,766	315	
170		325	170	10,44	320	
175			175		325	
180			180			

18,19

19,36

5,22

4,892

6,81

0,898

17,34 → 24,57 →

39,57 →

15,84 →

$$M = 2216734,16 \text{ g} \rightarrow 2216,734 \text{ kg}$$

$$F_{arr} = 0,765 v^2 - 0,252 v + 1,521 \rightarrow 0,765 \left( \frac{v_1 + v_2}{2} \right)^2 - 0,252 \left( \frac{v_1 + v_2}{2} \right) + 1,5$$

$$P_y = 21523,83$$

$$m = \frac{Q}{g} \rightarrow Q = 21746,16054 \text{ N}$$

$$\alpha = 8,20$$

$$\beta =$$

$$V_2 = \sqrt{4,16^2 + 2 \cdot 2216,734 \cdot 981 \cdot 0,7 - 13,7115 \cdot 25 - \left( 9,144 \cdot 10^{-3} + 0,1 \cdot \frac{0,03}{0,150} \right) \cdot 25 \cdot 21746,16}$$

$$8,20 \cos 8,20 - \left( 1,372 \cdot 10^{-2} + 0,1 \cdot \frac{0,02}{0,1} \right) \cdot 25 \cdot 21746,16 \cos 8,20 =$$

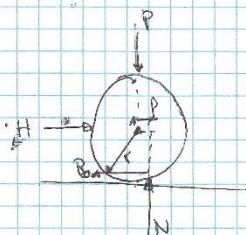
$$V_2 = \sqrt{17,3056 + 30444,6247 - 34,27875 - 1568,226 - 1814,45906} =$$

$$R_h = R_h - e s_n / \beta$$

$$21296,907$$



Coefficiente rozamiento entre ruedas y railes:



$$\mu = \frac{2f}{D}$$

$f$  → brazo de la palanca del rozamiento

$f$  (Nylon) = 0,68 sobre acero

$$\mu_1 = \frac{2 \cdot 0,68}{150} = 9,0667 \cdot 10^{-3} \text{ entre ruedas carga y railes } \mu_1^*$$

$$\mu_1' = \frac{2 \cdot 0,68}{100} = 13,6 \cdot 10^{-3} \text{ entre ruedas guía y railes } \mu_1'$$

$f = 0,0035$  rozamiento entre con engrabado y movimiento

$$\mu_2 = \frac{2f}{D} = \frac{2 \cdot 0,0035 \cdot 1,5}{20} = 0,15 \text{ rozamiento cojinetes } \mu_2$$

TRAMO →

$$135,19 + 48,63 + 21,17 + 513,23 + 54,75 + 28,08 = 183,29 \rightarrow 18,33 \text{ m}$$

$$19 + 48,63 + 21,17 + 513,23 + 54,75 + 28,08 = 685,36 \rightarrow 68,54 \text{ m}$$

$$98,83 +$$

$$135,19 + 61,26 = 196,45 \rightarrow 19,645 \text{ m}$$

$$19 + 48,63 + 21,17 + 513,23 + 54,75 + 28,08 = 685,36 \rightarrow 68,536 \text{ m}$$

$$98,83 + 14,137 = 112,967 \rightarrow 11,297 \text{ m}$$

$$7,30 \rightarrow 0,73 \text{ m}$$

$$41,11 \rightarrow 4,111 \text{ m}$$

$$7,30 \rightarrow 0,73 \text{ m}$$

$$66,85 \rightarrow 6,685 \text{ m}$$

$$7,23 + 315 + 126,28 = 448,51 \rightarrow 44,851 \text{ m}$$

$$50 + 21,43 + 75 = 137,43 \rightarrow 13,743 \text{ m}$$

$$169,71 + 45 + 7,40 + 84,46 + 29,86 + 150 + 169,65 + 159,47 + 13,49 + 75 + 7,46 + 70 + 48,37 + 70,30 + 7,59 + 204,90 = 1312,66 \rightarrow 131,266 \text{ m}$$

$$135,19 + 61,26 = 196,45 \rightarrow 19,645 \text{ m}$$

$$\text{Total} \rightarrow 321,239 \text{ m}$$

condicions atmosfèriques:  $g = 9.81 \frac{m}{s^2}$ ;  $R_{aire} = 286.9 \frac{m^2}{s^2 \cdot K}$ ;  $\lambda = -6.5 \cdot 10^{-3} \frac{K}{m}$ ;  $T_0 = 288.15 K$ ;  $P_0 = 101325 Pa$ ;  $\rho_0 = 1.225 \frac{kg}{m^3}$

Aerodinàmica del vehicle:

$$F_{arr} = \frac{1}{2} C_i \cdot A \cdot \rho_{aire} \cdot V_m^2$$

$$T(h) = T_0 + \lambda \cdot h$$

$$P(h) = P_0 \left( \frac{T_0 + \lambda \cdot h}{T_0} \right)^{\frac{g}{R \lambda}}$$

$$\rho(h) = \rho_0 \left( \frac{T_0 + \lambda \cdot h}{T_0} \right)^{\frac{g}{R \lambda} - 1}$$

n Navarra  $\rightarrow h = 238 m$

$$\bullet T(238) = 288.15 - 6.5 \cdot 10^{-3} \cdot 238 = 286.603 K$$

$$\bullet P(238) = 101325 \cdot \left( \frac{286.603}{288.15} \right)^{\frac{9.81}{286.9 \cdot (-6.5 \cdot 10^{-3})}} = 98995.91 Pa$$

$$\bullet \rho(238) = 1.225 \cdot \left( \frac{286.603}{288.15} \right)^{\frac{9.81}{286.9 \cdot (-6.5 \cdot 10^{-3})} - 1} = 1.197 \frac{kg}{m^3}$$

Altura de la casa:

ventana russa perfecta: Kingda Ka ( $h = 140 m$ ) més alta que el casc que està a tocar

$n = 378 m$

$$\bullet T(378) = 285.693 K$$

$$\bullet P(378) = 96861.85 Pa$$

Altura de la casa:

Resistor de carga



Puntos:

2,5322	<del>3,2234</del>	4,6912	0,0023	+0,0197		
-0,0033	<del>-0,0033</del>	0	-0,62	-0,9		
-0,2	<del>-0,2</del>	0	7,495	+7,4971		

4,70139	44,4965					
<del>2,8567</del>	9,65					
14,6232	4,3261					

-2,3377	-1,3073					
-0,8042	-0,4497					
-0,2900	-0,2050					

-1,2955	-1,6385	-3,8066	-4,0751	-4,0751	-4,0763	
-0,2025	0,0225	-0,6075	-0,0102	-0,63	+0,87	
-0,4161	2,9534	-1,2482	0	0	-0,0124	

-1,6533						
<del>-0,0033</del>						
+0,475						
0,0485						

-3,5923	-4,6971	-2,3377			
-1,1033	-1,3933	-0,29			
+0,0022	+2,9751	+0,8041			

6035,5443	-3,7087	-3,5037
26	-1,0608	-1,2033
	2,7063	7,2668
	-4,6971	-5,4732
	-1,3933	-1,2983
	2,7751	7,2765
	-1,3675	-1,9695
	-0,4497	-0,096
	-0,2050	-0,0950

x	-3,6911	-3,9216	-2,0820	-5,469
y	-1,35	-0,6150	-0,35	+0,81
z	-1,2698	1,3491	0	-2,164

0,2	0,6075	0,0933	2,5323	0,2022	1,2498
				0,0633	

3,434	
<del>3,6911</del>	
-0,82	
+1,269	

-3,4936	4	-3,5355	-5,6569	0	0	
0,83	=	0	0	-2,80	-2,80	
-1,1220	=	-1,4645	-2,3431	-21,0594	-19,2611	
-19,595	=	-1,4645	-2,3431	-2,4986	-1,5617	
0	=	0,1	0,1	-0,3250	-0,3250	
0	=	-3,5355	-5,6569	-5,8082	-3,6301	
-3,9218	-4,9915	-5,9351	-3,7095	0,9884	-0,3761	9,2050
-1,3491	0,0718	0	0	0,3325	0,095	0,1425
-0,6150	-0,23	-2,180	-1,3625	-0,0688	4,5014	4,5673
-5,1821	-1,3073	-1,9695	-1,7079	-1,2808	-1,7138	
0,81	-0,2050	-0,0950	0,59	0,2450	0,1	
-1,6643	0,4497	-0,0096	2,6404	2,4889	2,4405	
-3,9219	-2,0826	-0,35	-0,35			
-0,615						
-7,345						

-6,1426	-7,2294	② -2,3377	-1,3072	③ -3,6911	-3,9219	④ -2,082	-2,08
-1,01	-1,535	-0,29	-0,705	-0,82	-0,615	-0,35	-0,35
+7,92	+1,5251	+2,8041	+0,4497	+1,2698	+1,345	=	=
⑨ -1,4645	-2,3432	⑩ 0	0	⑪ -2,4986	-1,5615	⑫ -5,9351	-3,
-0,1	-0,1	-2,8	-2,8	+0,325	+0,325	+0,325	+0,
-3,5355	-5,6568	-21,0594	-19,0565	-5,8082	-3,6301	-2,1802	-1,34
① +1,1392	-0,7	-21,0484					
① 0	+4,6911	+0,0192	+4,6935	② +0,9884	+1,1934	+0,776	③ -1,4383
+0,09	+0,09	-0,9	-0,62	+0,3325	+0,19	-0,095	-4,1915
0	0	7,4971	7,4971	-0,0688	+4,4917	+4,5013	-0,93
-3,2994	-4,3408	-3,809	-5,4717	-5,4137	-5,3424	-5,392	-7079
-0,22	0	-0,143	-0,3	-0,31	-0,3	-0,32	+0,1
+0,0967	0	0	-0,0518	+0,0764	0	+0,3	+2,4405
-2,681	-3,464	-2,8692	-0,0254	-0,0479	-0,0147	-0,1237	
-0,18	-0,4	-0,32	-0,31	-0,56	-0,53	-0,64	
-0,284	-4,4331	-3,84476	-6,8284	-8,9176	-7,8597	-8,8453	
+0,0606	+0,2997	-0,103	+0,2999	-0,1321	0,2999	+0,2994	
0	0	-0,28	0	-0,18	0	-0,45	0
-0,0934	-0,0118	-2,6272	-0,0077	-5,1362	-0,0077	-5,1053	-6,32
-0,0278	+1,9931	+50,6909	+50,3632	-0,0049	-0,005	-0,011	0
0	0	0	0	0	0	0	0
-0,2995	-0,3337	-8,4863	-8,4314	15,7349	+16,0992	+16,1991	+0,7

$$\begin{array}{ccccccc}
 (5) -5,4692 & -5,1821 & (6) -3,4936 & -3,4936 & (7) -19,595 & \leftrightarrow & (8) -3,5355 & -5,6568 \\
 -0,82 & -0,81 & -0,83 & -0,83 & = & = & = & = \\
 -2,1643 & -1,6643 & -1,122 & -1,122 & = & = & -1,4645 & -2,3423
 \end{array}$$

$$\begin{array}{ccc}
 1,2867 & -1,7138 & -0,0059 \\
 2,245 & +0,59 & 0 \\
 4,688 & +2,4405 & -0,12
 \end{array}$$

Failed to load Microsoft.NET

$$\begin{array}{cc}
 32,64 & -3,6082 \\
 8,0267 & -1,2633 \\
 11,5373 & -6,3
 \end{array}$$

$$\begin{array}{cc}
 1853 & -0,2697 \\
 + & +0,179 \\
 3601 & -4,9861
 \end{array}$$

$$\begin{array}{ccc}
 +4,4855 & -0,10014 & -0,02 \\
 0 & 0 & \checkmark \\
 -0,0025 & -2,5 &
 \end{array}$$

$$\begin{array}{ccccccc}
 +0,3 & +0,10282 & 0 & -0,0019 & -61,8626 & +0,10306 & +10,2194 \\
 0 & 0 & -1,56 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & -41,4467 & 0 & 0,3045 & +10,3565 & +0,2991 & +0,19 \\
 2571 & -1,1767 & 0 & & & & \\
 & & -2,1599 & & & &
 \end{array}$$

